

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CARACTÉRISATION DU SYSTÈME D'AUTOPARTAGE DANS
L'AGGLOMÉRATION MONTRÉALAISE ET ANALYSE SPATIO-
TEMPORELLE DE SES DIFFÉRENTS OBJETS : USAGERS,
STATIONNEMENTS, VÉHICULES

BASILE MARTIN

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE CIVIL)

OCTOBRE 2007



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 978-0-494-36922-7

Our file Notre référence

ISBN: 978-0-494-36922-7

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

CARACTÉRISATION DU SYSTÈME D'AUTOPARTAGE DANS
L'AGGLOMÉRATION MONTRÉALAISE ET ANALYSE SPATIO-
TEMPORELLE DE SES DIFFÉRENTS OBJETS : USAGERS,
STATIONNEMENTS, VÉHICULES

présenté par: MARTIN Basile

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph.D., président

Mme MORENCY Catherine, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. ROBERT Benoit, M.ATDR., membre

REMERCIEMENTS

L'auteur désire remercier tout particulièrement le professeur Catherine Morency pour son appui tant financier que moral et les conseils techniques et méthodologiques qu'elle a su lui transmettre. Il remercie également la section transport du département et tout particulièrement son corps professoral, qui lui a permis d'acquérir des compétences et des connaissances fondamentales dans le domaine du transport. Les remerciements vont également aux étudiants qui ont su apporter leur aide et leur soutien moral durant la réalisation de ce mémoire.

L'auteur remercie également Communauto et tout particulièrement, son directeur Benoit Robert, et son conseiller pour le développement stratégique et les relations publiques de Communauto, Marco Viviani. En permettant l'accès aux nombreuses données sur lesquelles ce mémoire est fondé, ils en ont permis la réalisation.

RÉSUMÉ

La forte motorisation de la population est devenue, depuis quelques années, un des problèmes majeurs des pays industrialisés. Elle entraîne en effet une saturation des réseaux et une forte pollution. Pour limiter l'importance de ce fléau, les autorités promeuvent des modes de transport alternatifs tels que le transport en commun. Elles soutiennent également les initiatives visant à limiter l'usage de l'auto. C'est dans ce cadre que depuis les années 90 l'autopartage a su s'installer et progresser dans différentes villes. En Amérique du Nord, c'est au Québec que le premier service d'autopartage a été implanté. C'est aujourd'hui Communauto qui offre ce service dont le cœur est situé à Montréal. Ce mémoire est une étude analytique systématique des opérations et de l'utilisation de ce service.

L'autopartage étant un mode de transport nouveau, de nombreuses recherches ont été conduites pour évaluer son marché potentiel et son impact sur la mobilité des personnes. Ces études ont été menées à partir d'enquêtes auprès des usagers de l'autopartage. La particularité de ce mémoire, est qu'il s'appuie sur des données opérationnelles. Le service est donc observé. Pour réaliser cette étude, l'autopartage a été abordé comme un système orienté objet dont les principaux objets sont l'abonné, le véhicule, et la station. Ce mémoire cherchera à explorer quelques pistes d'analyse afin de documenter les différentes composantes opérationnelles de ce système de transport au travers de données transactionnelles. Il tente de faire le portrait de l'offre en étudiant la structure opérationnelle du service, ainsi que de la demande, en étudiant les composantes spatio-temporelles des utilisations faites de ce service par les usagers.

Après une définition et un historique de l'autopartage, la première étape à franchir pour exploiter les données disponibles a été la définition des différents objets et la formalisation des données. Les portraits du service proposés dans ce mémoire sont

dressés au travers de différents indicateurs. Ces indicateurs ont été construits et définis le plus strictement possible; ils sont en outre de nature statistique ou spatiale. Ce travail a été fait dans le but de rendre possible la réutilisation de cette méthode dans d'autres circonstances.

Une étude transversale complète a ensuite été menée afin de faire un portrait statique du système. Elle est fondée sur les indicateurs prédéfinis et structurée autour des différents objets du système. On peut ainsi observer le système sur trois mois de septembre consécutifs du point de vue de chaque objet : abonné, station, véhicule. Ces observations mettent en évidence les caractères croissants et expansifs du système. Elles exposent également les principales caractéristiques opérationnelles et comportementales du système et de chacun de ses objets. Cette partie montre ainsi l'application systématique d'indicateurs permettant d'aborder des aspects généraux, bien sûr, mais aussi des aspects très précis (fidélité des abonnés à leurs station, potentiel d'attraction des stations...)

La méthode d'étude est ensuite appliquée dans une analyse longitudinale des opérations du système. Cette analyse permet de faire le portrait du service sur une année. Elle montre l'influence de la période estivale durant laquelle l'utilisation du service est transformée : les utilisateurs changent de comportement en utilisant les véhicules sur de plus longues périodes. Cette étude longitudinale permet également de suivre l'activité des usagers sur une longue période, elle montre que près de 50% des usagers sont toujours actifs un an après leur entrée dans le système.

Ce mémoire expose enfin une succincte étude comparative des caractéristiques sociodémographiques des usagers et de la population dans un quartier. Elle est fondée d'une part sur un sondage des abonnés de l'autopartage montréalais, et d'autre part sur l'enquête Origine-Destination 2003 portant sur l'ensemble de la population. Cette étude comparative indique la spécificité des usagers du service dans la population globale. Elle

met en évidence les principaux facteurs sociodémographiques favorables à l'usage de l'autopartage tels qu'une densité de population élevée, une très faible motorisation, ou encore un revenu relativement élevé.

Les données opérationnelles de l'autopartage ont montré un fort potentiel d'analyse. La méthode exposée dans ce mémoire a permis d'illustrer une partie des analyses possibles. Ce mémoire a ainsi pu dresser un portrait du système, et observer son évolution. Cependant il n'a pas abordé toutes les perspectives et le champ d'exploitation de ces données est encore vaste. La méthode a également montré certaines limites qu'il est nécessaire de repousser. La conduite de nouvelles études basées sur les opérations du service comprenant l'analyse de données supplémentaires (GPS par exemple) permettront d'une part, de fiabiliser et de valider la méthode proposée ici et d'autre part, de mieux appréhender l'autopartage et contribueront à lui conférer une place de choix parmi les modes de transport urbains.

ABSTRACT

During the past years, the growing motorization has become one of the major problems of the developed countries. Indeed, this growth has led to road-networks saturation and has increased greenhouse gas emission dangerously. In order to find a solution, alternative transportation modes as public transport are now promoted. Therefore, since the 90's, new alternative modes such as car-sharing are sustained and gain in popularity in many cities. It's in Quebec (Canada) in 1993 that the first North-American car-sharing organization appeared. This organization is now Communauto and it also operates car-sharing in Montreal. This service is the subject of this research.

Numerous studies have been conducted to evaluate the potential market and the mobility impact of car-sharing in urban areas. The major part of those studies was based on surveys of car-sharing users. The present project uses car-sharing operational datasets. In car-sharing databases, many different attributes (duration, localization, member and vehicle ids...) on all transactions are recorded. Moreover, in this paper, the car-sharing system is considered as an object-oriented model composed of two dynamic objects (users and vehicles) and one static object (station). This research tries to show the analysis potential of car-sharing operational databases. It tries to draw a portrait of the service studying the supply (operational structure) on one hand and the demand (users' behavior) on the other hand.

After a short definition, this paper gives a quick historical background of car-sharing organizations. The second part gives the method's foundations and defines all the different measurements used in the study. The service is observed by means of different indicators (which are spatial or statistical indicators). Those indicators are strictly built and defined to make their application on other datasets easier.

The first real study is based on data from three different September months. The system is observed through the eye of each object by the means of predefined indicators. It draws a general portrait of the service (dimensions, major facts...) and it also shows the growth of the system and its consequences on the service. We can observe the growth and the spatial expansion of the system. The object-oriented analysis has shown, for example, that the increasing number of users has an effect on car demand pressure and consequently on cancellation rates. This part also gives examples of means to measure many properties of the different objects (stations attractiveness, users' fidelity toward stations or cars...).

After this portrait the paper tries to study the system during long periods (at least one year). It brings out the weekly periodic nature of car-sharing use and also shows the influence of vacancy periods on the service. In fact, on a summer day, service is approximately the same as on a "normal" week-end day. It shows that users partly change their behavior during vacancy time. This study has also measured a survival rate after different terms (50% for one year) by following users' activity during two years.

This memorandum finally exposes a brief demographic comparison between users and their neighborhood. This study is based on a regional transportation survey and on a survey of Montrealer car-sharing users; only considers users and population of a specific area where users' density is high. This comparison shows the demographic and social particularity of car-sharing users. It brings out the major factors of car-sharing users: high density and incomes, young population... Household's structure and motorization are also taken into consideration.

Car sharing is becoming a more and more important transportation mode. Therefore car-sharing organizations will need to understand better how their system is used and consequently require analytical tools. The dataset's analysis has shown that many systematic indicators regarding both demand and supply objects can be estimated for

various temporal and spatial segments. However, studies conducted in this paper have only exploited a part of operational datasets potential. Moreover, other datasets also have the potential to enhance the information system on car sharing system. By using those other datasets and trespassing methodological limits of this study, we will be able to contribute to the recognition of car sharing as a relevant part of the urban transportation system.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT	viii
TABLE DES MATIÈRES	xi
LISTE DES FIGURES	xv
LISTE DES TABLEAUX.....	xx
LISTE DES ANNEXES.....	xxi
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....	1
1.1 Définition de l'autopartage.....	2
1.2 Historique de l'autopartage	4
1.2.1 Les débuts	4
1.2.2 Une récente croissance	5
1.3 Les différents types d'organisation	7
1.4 La place de l'autopartage dans le transport urbain.....	10
1.5 Le marché de l'autopartage	11
1.5.1 Caractéristiques démographiques des usagers de l'autopartage	12
1.5.2 Caractéristiques des zones d'implantation de l'autopartage	14
1.6 L'autopartage à Montréal	14
1.7 Principes de l'étude	16
CHAPITRE 2 : SYSTÈME D'INFORMATION	18
2.1 L'autopartage : un système orienté objet	18
2.2 Terminologie retenue pour l'étude	20
2.3 Les différentes tables de la base de données	21
2.3.1 Base de données : table transactionnelle.....	21
2.3.2 Base de données : table des abonnés.....	24
2.3.3 Base de données : table des véhicules.....	27

2.3.4	Base de données : table des stations.....	28
2.3.5	Synthèse	30
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE		31
3.1	Notations	32
3.1.1	Notations générales et définitions	32
3.1.2	Notations d'ordre temporel	34
3.1.3	Notations d'ordre spatial	35
3.2	Indicateurs relatifs aux abonnés	36
3.2.1	Volumes de service	36
3.2.2	Fidélité	37
3.2.3	Disponibilité.....	37
3.2.4	Application aux études longitudinales	38
3.3	Indicateurs relatifs aux véhicules	39
3.3.1	Volumes de service	39
3.3.2	Capacité opérationnelle, taux d'utilisation et suivi d'un véhicule	40
3.3.3	Application aux études longitudinales	41
3.4	Indicateurs relatifs aux stations	41
3.4.1	Volumes de service : agrégation de plusieurs véhicules.....	41
3.4.2	Indicateurs sur les usagers de la station	42
3.4.3	Indicateurs sur les véhicules de la station	44
CHAPITRE 4 : ÉTUDE TRANSVERSALE DU SERVICE		
D'AUTOPARTAGE		45
4.1	Introduction	45
4.2	Indicateurs globaux	45
4.3	Les utilisations : propriétés et évolution.....	48
4.3.1	Transactions enregistrées : répartition	48
4.3.2	Volumes d'utilisation.....	50
4.3.3	Durée des utilisations	55
4.4	Les stations : propriétés et évolution.....	59

4.4.1	Caractéristiques principales des stations	59
4.4.2	Stations : leurs usagers	64
4.4.3	Stations : leurs véhicules	77
4.5	Les Véhicules : propriétés et évolution	82
4.5.1	L'ensemble de la flotte	82
4.5.2	Un échantillon de véhicules	86
4.5.3	Véhicules : temps roulés et stationnés	87
4.6	Les abonnés : propriétés et évolution	89
4.6.1	Caractéristiques principales des abonnés	89
4.6.2	Abonnés : volume d'utilisation	92
4.6.3	Abonnés : distance et durée d'utilisation	93
4.6.4	Abonnés : choix des stations	94
4.6.5	Abonnés : choix des véhicules	98
4.7	Synthèse	100
CHAPITRE 5 : ÉTUDE LONGITUDINALE DU SERVICE		
D'AUTOPARTAGE		101
5.1	Introduction	101
5.2	Analyse d'un an de fonctionnement	101
5.2.1	Indicateurs globaux	101
5.2.2	Les stations au cours de l'année 2006	104
5.2.3	Les véhicules au cours de l'année 2006	107
5.2.4	Les usagers : leur comportement au cours de l'année 2006	109
5.2.5	Les usagers : persistance d'activité	111
5.3	Conclusion	115
CHAPITRE 6 : SONDAGE COMMUNAUTO 2004 ET ENQUÊTE ORIGINE-		
DESTINATION : ÉTUDE D'UN QUARTIER		117
6.1	Méthodologie	117
6.2	Le Plateau Mont-Royal dans la région de Montréal	118
6.3	Comparaison usagers – population	119

6.4 Synthèse.....	125
CHAPITRE 7 : CONCLUSION GÉNÉRALE	126
7.1 Contributions	126
7.2 Limites du projet	126
7.3 Perspectives	127
RÉFÉRENCES.....	129
ANNEXE	133

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Croissance de l'autopartage en Amérique du Nord entre 1998 et 2005	7
Figure 1-2: "Station cars" à simple station, couplé avec une infrastructure lourde de transport.....	9
Figure 1-3 : "Station cars" à stations multiples	9
Figure 1-4 : Place de l'autopartage dans les transports urbains	10
Figure 1-5: Schéma de principe de l'étude sur les données transactionnelles.....	17
Figure 2-1 : Schéma de principe de l'approche du système	19
Figure 2-2 : Système orienté objet simplifié du système d'autopartage.....	20
Figure 2-3 : Structure du système d'information	30
Figure 4-1 : Évolution de volumes opérationnels globaux	47
Figure 4-2 : Évolution de ratios globaux entre septembre 2003 et 2005.....	47
Figure 4-3 : Répartition des transactions de septembre 2003 par type	48
Figure 4-4 : Évolution de la répartition des transactions selon leur statut	49
Figure 4-5 : Nombre de départs quotidiens sur 3 mois de septembre consécutifs	50
Figure 4-6 : Distance parcourue par l'ensemble de la flotte (veh-km) par jour de départ.....	51
Figure 4-7 : Régression linéaire $D_j=f(T_j)$ par jour de départ sur les mois de septembre 2003 à 2005.....	52
Figure 4-8 : Utilisation du parc automobile durant 3 mois de septembre consécutifs	53
Figure 4-9 : Variation moyenne de la part du parc automobile utilisée sur 24 heures.	55
Figure 4-10 : Courbes cumulées des utilisations par durée et type de jours médians de semaine.....	56
Figure 4-11 : Suivi hebdomadaire de la répartition des durées d'utilisation par jour médian (sept-04).....	57
Figure 4-12: Suivi hebdomadaire des répartitions d'utilisations par tarif (sept-04).....	58
Figure 4-13 : Répartitions des utilisations de courte durée selon leur durée par type de jour médian.....	59

Figure 4-14 : Distribution des stations selon leur capacité V_s (sept 2003).....	60
Figure 4-15 : Distributions des stations selon leur capacité V_s , sur 3 mois de septembre consécutifs.....	61
Figure 4-16 : Carte des stations : développement sur trois ans et capacité en septembre 2005	62
Figure 4-17 : Carte de l'évolution de la capacité des stations de septembre 2003 à 2005.....	63
Figure 4-18 : Distribution des stations selon A_s : nombre d'abonnés différents (sept 2003).....	65
Figure 4-19 : Distribution des stations selon le ratio abonnés-véhicule par station (sept 2003).....	65
Figure 4-20 : Carte des stations par ancienneté et ratio abonnés-véhicules par station (sept 2005).....	66
Figure 4-21 : Évolution de la distribution des stations selon le ratio abonnés/véhicules par station.....	68
Figure 4-22 : Répartitions par station des abonnés n'utilisant qu'une station (sept 2005).....	69
Figure 4-23 : Évolution de la distribution des stations selon la distance domicile-station moyenne	70
Figure 4-24 : Dispersion spatiale du domicile des usagers de quelques stations particulières	72
Figure 4-25 : Positions relatives de quelques stations et du domicile de leurs usagers (sept 2004).....	73
Figure 4-26 : Carte des stations et nombre de domiciles d'abonnés situés à moins d'1km : As_{1000} (sept 2004)	75
Figure 4-27 : Mise en évidence spatiale de As_{1000} pour trois stations distinctes (sept 2004).....	76
Figure 4-28 : Carte des stations et nombre d'abonnés dont c'est la station la plus proche : Asp (sept 2004)	77

Figure 4-29 : Distribution des stations selon leur taux d'utilisation global (sept 2004)...	79
Figure 4-30 : Utilisation des véhicules de la station St Sacrement durant un mois (sept 2004).....	80
Figure 4-31: Utilisation des véhicules de la station Saint-Michel et Beaubien (sept 2004).....	81
Figure 4-32 : Utilisation des véhicules de la station <i>St Sacrement</i> durant une semaine de septembre 2004	82
Figure 4-33 : Distribution des véhicules selon le nombre d'utilisation et répartitions tarifaires (sept 2004)	83
Figure 4-34 : Évolution du nombre d'utilisations moyen par voiture selon le tarif appliqué	85
Figure 4-35 : Évolution des distances et durées mensuelles d'utilisation par véhicule selon le tarif appliqué	85
Figure 4-36 : Répartition des utilisations de la station St Sacrement par tarif (sept 2004).....	86
Figure 4-37 : Distance et durée moyenne des utilisations au tarif inter-réseau de chaque véhicule de la station St Sacrement (sept 2004)	86
Figure 4-38 : Distance et durée moyenne des utilisations au tarif local de chaque véhicule de la station St Sacrement (sept 2004).....	87
Figure 4-39 : Comparaison entre les résidents de l'île de Montréal et les membres de l'autopartage	89
Figure 4-40 : Répartition spatiale des différents objets de service d'autopartage montréalais (sept 2004)	90
Figure 4-41 : Densité de population, Région métropolitaine de Montréal – 2001	91
Figure 4-42 : Répartition des usagers par fréquence mensuelle d'utilisation (sept 2004).....	92
Figure 4-43 : Distribution et proportions des différents types d'abonnés par la distance totale de parcours (sept 2004)	93

Figure 4-44 : Distribution des usagers actifs par distances parcourues (moins de 101 km)	94
Figure 4-45 : Propension des abonnés à accéder au service dans une station plus éloignée que leur station la plus proche	96
Figure 4-46 : Choix de la station et régularité d'utilisation : nombre de stations différentes en fonction du nombre d'utilisations (sept 2004)	97
Figure 4-47 : Localisation des abonnés ayant fait plus de deux utilisations par station (sept 2004).....	97
Figure 4-48 : Choix de véhicule et régularité d'utilisation: nombre de véhicules différent en fonction du nombre d'utilisations (sept 2004)	98
Figure 4-49 : Régression linéaire $U/Va - Ua$ (sept 2004).....	99
Figure 5-1 : Répartition des utilisations de chaque tarif sur une année basée sur une semaine moyenne de 2006	103
Figure 5-2 : Capacité et nombre de stations actives au cours de 2006	104
Figure 5-3 : Croissance des stations au cours de l'année 2006 en nombre de véhicules.....	105
Figure 5-4 : Évolutions longitudinales des capacités de 4 stations distinctes au cours de l'année 2006	106
Figure 5-5 : Distribution et courbe cumulée des véhicules par nombre de semaines de service (année 2006)	107
Figure 5-6 : Nombre de véhicules et taux d'utilisation hebdomadaires durant l'année 2006.....	108
Figure 5-7 : Évolution de l'utilisation hebdomadaire des véhicules en 2006 : distance et nombre d'utilisations	109
Figure 5-8 : Évolution de l'utilisation du service par les abonnés en 2006 : distance et nombre d'utilisations hebdomadaires	111
Figure 5-9 : Activité hebdomadaire des abonnés durant l'année 2006	113
Figure 5-10 : Persistance d'activité des abonnés (2005-2006).....	114
Figure 5-11 : Taux d'activité des abonnés en fonction de l'ancienneté (2005 - 2006)...	115

Figure 6-1 : Comparaison démographique population-abonnés	120
Figure 6-2 : Comparaison population - abonnés : la langue parlée.....	121
Figure 6-3 : Distributions de la population et des abonnés selon la taille de leur ménage	122
Figure 6-4 : Comparaison population-abonnés : la motorisation.....	123
Figure 6-5 : Comparaison population-abonnés : le statut socioprofessionnel	124
Figure 6-6 : Distribution de la population selon le revenu	125
Figure 6-7 : Distribution des abonnés selon le revenu	125
Figure A-1: Services d'autopartage en Amérique du Nord en 2005.....	134
Figure A-2 : Modèle orienté-objet du système d'autopartage (année 2006)	134

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Définitions de l'autopartage	3
Tableau 2-1: Description des champs de la base de donnée brute	22
Tableau 2-2 : Description des champs de la table des abonnés	25
Tableau 2-3 : Description des champs de la table des véhicules	27
Tableau 2-4 : Description des champs de la base de données des stations	28
Tableau 3-1 : Notations des attributs des utilisations.....	32
Tableau 4-1 : Indicateurs opérationnels globaux sur 3 mois de septembre consécutifs	46
Tableau 4-2 : Répartition par nombre de réservations en septembre 2003	48
Tableau 4-3 : Capacités opérationnelles et taux d'utilisation du système (4 septembres).....	54
Tableau 4-4 : Durées moyennes des utilisations par jours et tarifs (sept 2004).....	55
Tableau 4-5 : Capacité des stations dans leur première année de fonctionnement	61
Tableau 4-6 : Quantité d'abonnés et stations: évolution sur 3 ans	67
Tableau 4-7 : Données géométriques sur la dispersion des usagers de six stations (sept-04)	70
Tableau 4-8 : Évolution des indicateurs de service pour un véhicule	84
Tableau 5-1 Indicateurs globaux sur l'année de service 2006.....	102
Tableau A-1: Opérateurs d'autopartage nord-américains en juin 2005	133

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A :	132
------------------	-----

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Alors que l'on a pendant des décennies promu l'utilisation de l'automobile pour se déplacer, alors que l'on a adapté (en Europe) ou conçu les agglomérations en fonction de la demande croissante en transport routier, on observe depuis une quinzaine d'années un revirement en matière de politique de transport urbain. En effet, la plupart des gouvernements des pays industrialisés ont commencé par promouvoir l'utilisation du transport en commun. En France par exemple, les responsables de l'aménagement urbain ont fait le constat que « *La croissance du trafic automobile et sa contribution aux pollutions, effet de serre, nuisances et consommation d'espace imposent à tous les responsables de mener avec ténacité les réflexions et actions nécessaires.* » (Lamure, Patrice, & Jean, 1999). Les autorités de ces pays prennent aujourd'hui des mesures importantes pour lutter contre l'augmentation du parc automobile dans nos villes. L'éventail des mesures mises en place dans les agglomérations est assez large : mise en place de péages urbains, de voies de circulation réservées aux autobus ou, bien sûr, promotion du transport en commun. Cette politique s'accompagne également de la création de nouvelles alternatives à l'automobile en milieu urbain : le covoiturage et l'autopartage en font partie.

L'autopartage s'est donc proposé comme une alternative à l'automobile individuelle et, comme ce mode connaît une récente croissance, il est le sujet de beaucoup d'études visant à mieux appréhender son usage, ses usagers ainsi que sa capacité à s'imposer de manière durable dans l'éventail des modes de transport. L'autopartage étant encore un mode jeune et quelque peu marginal, il est présent sous une multitude de formes à travers le monde. La première partie de ce mémoire s'attachera à montrer les différentes étapes qui ont conduit l'autopartage jusqu'à sa forme actuelle. La structure opérationnelle qui semble aujourd'hui la plus viable est celle choisie par la plupart des grands opérateurs d'autopartage dans le monde dont Communauto à Montréal. Les recherches menées sur ce type de structure n'ont pour l'instant pu être basées que sur des enquêtes auprès des usagers et ont le plus souvent visé les composantes économiques (marché potentiel,

viabilité...) du marché de l'autopartage. Rares sont celles qui ont abordé le côté opérationnel en se basant sur des observations.

L'opportunité à laquelle répond ce mémoire réside dans l'accès à une formidable quantité de données opérationnelles provenant d'un des plus gros fournisseurs d'autopartage d'Amérique du nord : Communauto. Ce mémoire cherchera donc à explorer quelques pistes d'analyse afin de documenter les différentes composantes opérationnelles de ce système de transport au travers de données transactionnelles. Il tente de faire le portrait de l'offre en étudiant la structure opérationnelle du service, ainsi que de la demande en étudiant les composantes spatio-temporelles des utilisations faites de ce service par les usagers.

1.1 Définition de l'autopartage

Il n'existe pas de définition unique de l'autopartage, on peut néanmoins trouver plusieurs définitions officielles (voir Tableau 1-1) qui ont vu le jour à des fins législatives (par exemple pour réserver des stationnements aux véhicules d'autopartage). La définition la plus explicite semble être celle de l'état de Washington (Transit Cooperative Research Program & Millard-Ball [TCRP], 2005) qui définit l'auto partage comme *un programme d'adhésion visant à offrir une alternative à la possession automobile et par lequel des personnes ou entités qui deviennent membres ont la possibilité d'utiliser sur une base horaire les véhicules d'une flotte*¹.

¹ « A membership program intended to offer an alternative to car ownership under which persons or entities that become members are permitted to use vehicles from a fleet on an hourly basis. »

Tableau 1-1 : Définitions de l'autopartage

Organisation	Définition	Source
North American		
City of Toronto	Carsharing is the practice where a number of people share the use of one or more cars that are owned by a profit or non-profit carsharing organization. To use a vehicle a person must meet the membership requirements of the carsharing organization, including the payment of a membership fee that may or may not be refundable. Cars are reserved in advance and fees for use are normally based on time and miles driven. Carsharing organizations are typically residentially based with cars parked for convenient access within the area of the membership served by the organization.	City of Toronto, 2000
State of Washington	A membership program intended to offer an alternative to car ownership under which persons or entities that become members are permitted to use vehicles from a fleet on an hourly basis.	Revised Code of Washington § 82.70.010 (5)
State of Oregon	A program in which drivers pay to become members in order to have joint access to a fleet of cars from a common parking area on an hourly basis. It does not include operations conducted by a car rental agency.	Oregon Administrative Rules 330-090-0110 (7) (Business Energy Tax Credit)
District of Columbia	Car-sharing vehicle – any vehicle available to multiple users who are required to join a membership organization in order to reserve and use such vehicle, for which they are charged based on actual use as determined by time and/or mileage.	District of Columbia Municipal Regulations, § 9901
State of Minnesota (Pending Legislation). Note that this only includes 501(c) nonprofit operators.	A "carsharing organization" means an organization that: (1) is described in section 501(c) of the Internal Revenue Code; (2) is comprised of members who purchase the use of a motor vehicle from the organization; (3) owns or leases a fleet of motor vehicles that are available to members of the organization to pay for the use of a vehicle on an hourly or per trip basis; and (4) does not assign exclusive rights of use of specific vehicles to individual members or allow individual members to keep a vehicle in the member's sole possession.	Senate Bill SF 1229 (Dibble), as introduced 84 th Legislative Session (2005-2006)
European		
Belgium (Draft)	Car vehicles put at the disposal of members against payment for a limited duration of use according to contractual conditions determined by [the car-sharing organization], to the exclusion of car rental and leasing.	Rydén and Mørn (2004)
Swedish National Road Administration (Draft)	Car-sharing means that a number of persons share the use of one or more cars. Use of a car is booked beforehand, the user paying a fee based on the distance driven and the length of time the car was made use of. Although this is similar in some ways to traditional car rental, it differs in the possibility it provides of booking a car for short periods of time and in the rental agreement being made for an extended period of time, rather than each time a car is used. In addition, each household has its own set of keys, and cars are placed in the vicinity of where members live. In the case of company car-sharing, the keys and the cars are being readily available at the place of work. "Key" is here equal to smartcard or similarities.	Vägverket, 2003

(TCRP, 2005)

L'autopartage est donc un service de mobilité avancé qui offre la flexibilité de l'automobile tout en éliminant la nécessité d'en posséder une (Robert, 2005). On peut également considérer ce service comme une location de véhicule à courte durée. Ce service est apparu dans de grandes agglomérations pour répondre tant à des problématiques économiques qu'environnementales. Il s'inscrit dans un mouvement relativement récent qui vise à offrir de nouvelles alternatives à l'utilisation de l'automobile. En effet, il permet aux usagers de s'affranchir de la possession d'un véhicule et donc des frais inhérents (assurance, entretien, stationnement...). Même si ce service bénéficie aujourd'hui une image environnementale positive (réduction de la consommation d'énergies fossiles et des émissions de gaz à effet de serre), son succès grandissant est avant tout fondé sur un réel attrait économique. Ce service est en effet de plus en plus abordable vis-à-vis des autres modes de transports urbains.

L'autopartage est donc un service de transport offert dans certaines agglomérations qui, comme le covoiturage, fait partie des moyens de lutter contre l'explosion du parc automobile. Il est nécessaire de faire la distinction entre autopartage et covoiturage (Gilbert, 2006). Le covoiturage est un mode de transport qui consiste à partager l'usage d'un véhicule sur un même parcours au même moment (généralement pour un déplacement de type domicile – travail) ; il y a donc plus d'une personne dans le véhicule. Au contraire, l'autopartage consiste plutôt en un service de location de voiture réservé aux abonnés qui leur permet en tout temps, d'accéder à une automobile sans en être le propriétaire. Il y a donc dans ce cas plusieurs usagers-conducteurs pour un même véhicule ; de plus il est possible qu'un véhicule d'autopartage ne soit occupé que par une seule personne.

On constate que les compagnies qui proposent ce service sont généralement constituées d'une flotte de véhicules affectés dans différents stationnements répartis sur le territoire d'une agglomération. Ces véhicules peuvent être réservés à l'heure ou à la journée suivant les disponibilités.

1.2 Historique de l'autopartage

1.2.1 Les débuts

L'autopartage n'est pas à proprement parler nouveau. Sa forme actuelle, son organisation et sa commercialisation le sont davantage.

Au début, le but était d'accéder à l'automobile qui était encore un produit de luxe : plusieurs ménages achetaient une auto ensemble afin de profiter de son usage en limitant les coûts d'acquisition et d'entretien. A cette époque on ne parle pas vraiment d'autopartage car ceci n'est pas fait de manière officielle et reste dans des cercles privés ; on peut cependant considérer ces comportements comme les balbutiements de ce qu'est devenu l'autopartage aujourd'hui.

La première organisation « officielle » connue se rapprochant de l'autopartage a vu le jour dans la capitale helvétique (Zurich) après la 2^{ème} guerre mondiale. SEFAGE était en

fait un club qui n'a jamais compté beaucoup d'adhérents et qui n'avait pas de vocation commerciale (Robert, 2004).

Ce n'est qu'une vingtaine d'années plus tard que de nouvelles expériences ont vu le jour. Entre temps, les décideurs et divers intervenants du domaine du transport ont commencé à chercher des moyens de lutter contre l'explosion du parc automobile qui commençait à engendrer de sérieux problèmes de congestion et d'efficacité des transports urbains. De nouveaux modes de transports ont donc été expérimentés dans les années 70 parmi lesquels l'autopartage. Ainsi en 1971 c'est à Montpellier (France) qu'a vu le jour le premier programme d'autopartage organisé : « Procotip ». Bientôt suivi par « Witkar » à Amsterdam en 73, « Green Cars » au Royaume Uni dans la fin des années 70 et « Vivala Bil » en 1983 à Orebro (Suède). Tous ces programmes européens ont en commun de ne pas avoir duré plus de quelques années. De même, plusieurs expériences ont été menées en Amérique du Nord et n'ont pas rencontré de franc succès : les chercheurs de Purdue University ont mené un projet entre 1983 et 1986 à West Lafayette dans l'Indiana (Mobility Enterprise program). Enfin, c'est à San Francisco que l'on trouve le dernier programme de cette génération : « STAR » (Short Term Rental service) entre 1983 et 1985. L'échec relatif de ces programmes est surtout dû à une mauvaise adaptation du service aux besoins des consommateurs ou à une absence de rentabilité. Certains soulignent également la démesure des projets au vu de la technologie disponible pour l'époque (TCRP, 2005).

1.2.2 Une récente croissance

Ce n'est que depuis la fin des années 80, avec la prise de conscience générale des autorités et des usagers quant aux problèmes de transport urbain et de gestion de la demande que de vraies structures se sont mises en place pour créer des programmes d'autopartage importants et durables. Comme par le passé, c'est en Europe que ces entreprises ont commencé à se développer suivi du Canada et des États-Unis.

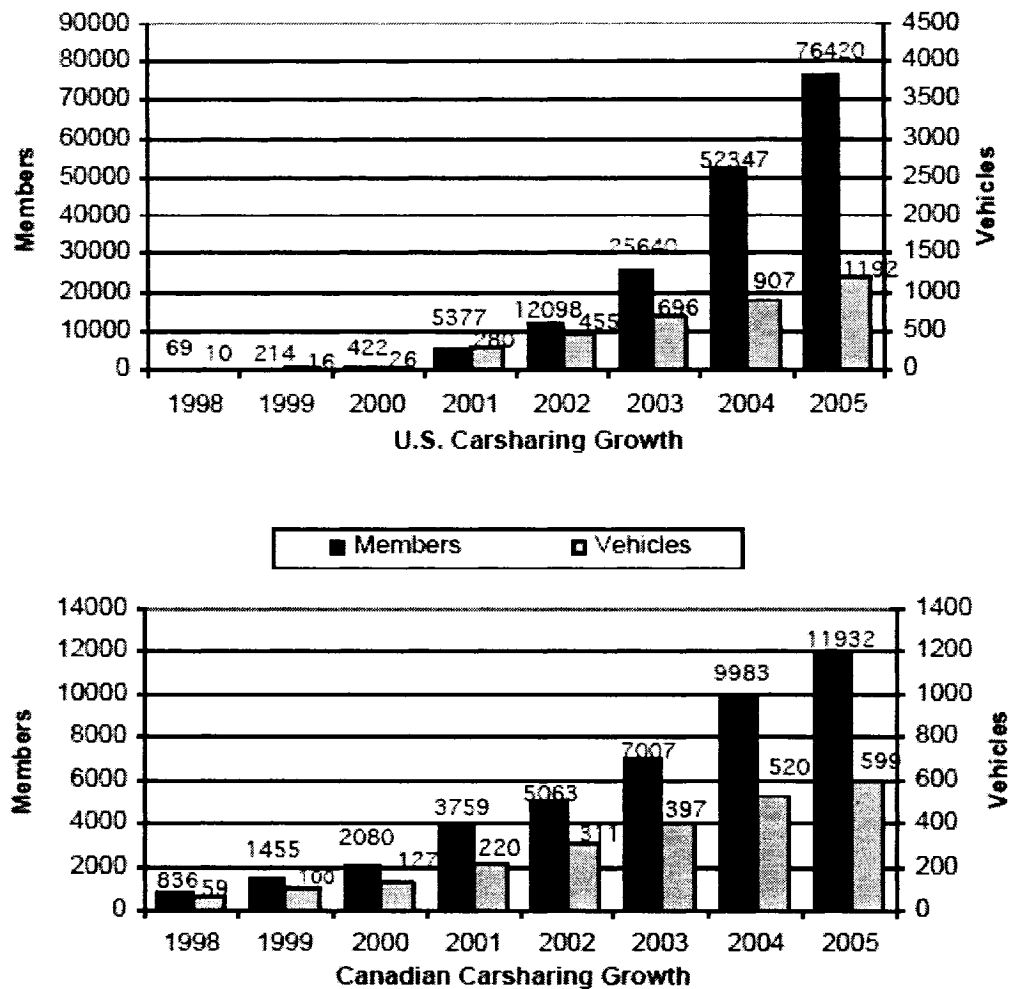
Ainsi, c'est encore en Suisse que les premières structures d'autopartage modernes sont nées en 1987. Elles étaient au départ deux coopératives *ATG-AutoTeilet Suisse* et

ShareCom qui ont par la suite fusionnées en 1997 pour devenir *Mobility Car-Sharing* aujourd'hui l'une des plus importantes compagnies d'autopartage du monde. Un an plus tard, c'est à Berlin (Allemagne) qu'est fondée une autre organisation, elle sera bientôt suivie par d'autres dans plusieurs pays d'Europe (Pays Bas, Autriche...). On estime en 2005 à 280 000 le nombre d'utilisateurs dans le monde avec une augmentation annuelle de 20 à 30% ; près de 75% des utilisateurs sont des Européens.

En Amérique du Nord, il faut attendre 1994 et Auto-Com à Québec, qui deviendra par la suite Communauto, pour voir de telles structures se mettre en place. Elle sera suivie en 1998 par la première compagnie américaine à Rutledge, MO.

En 2005 on comptait 28 organisations (voir Figure A-1) offrant un service d'autopartage en Amérique du Nord réunissant plus de 88 000 utilisateurs et près de 1800 véhicules. Mais ce n'est pas tant le volume que la croissance de ce secteur qui apparaît importante (voir Figure 1-1); En effet en 5 ans (depuis l'an 2000), le nombre mondial d'utilisateurs a été multiplié par 35 avec une hausse de 42% entre 2004 et 2005. La flotte Nord-américaine a connu une augmentation moins importante bien que conséquente : le nombre de véhicules a été multiplié par 11 avec une augmentation la dernière année de 27% (Shaheen, Cohen, & Roberts, 2005). La Figure 1-1 représente les volumes totaux de véhicules et d'abonnés de l'ensemble des services d'autopartage proposés en Amérique du Nord.

On remarque également une différence d'évolution entre le Canada et les États-Unis durant ces dernières années : le nombre d'utilisateurs par véhicule a beaucoup plus augmenté aux E-U qu'au Canada. Il était en 2005 de 64 : 1 aux États-Unis et de 20 : 1 au Canada. Shaheen, Cohen, & Roberts (2005) indiquent que ceci peut être expliqué par des conditions d'adhésions beaucoup moins onéreuses (droits d'adhésion) et moins restrictives. Les services d'autopartage proposant des droits d'adhésion très faibles ou nuls proposent par ailleurs des tarifs d'utilisation beaucoup plus élevés.



(Shaheen, Cohen, & Roberts, 2005)

Figure 1-1: Croissance de l'autopartage en Amérique du Nord entre 1998 et 2005

1.3 Les différents types d'organisation

Les services d'auto partage que l'on rencontre aujourd'hui en Amérique du Nord ne fonctionnent pas tous suivant le même modèle. Le modèle choisi dépend d'une part de l'organisme qui offre le service (entreprise ou collectivité locale) et, d'autre part du contexte dans lequel il est implanté (rural ou urbain). Ainsi on recense trois grands types de statut juridiques (TCRP, 2005) et deux types de modèles opérationnels (Barth, Han, & Todd, 2001) :

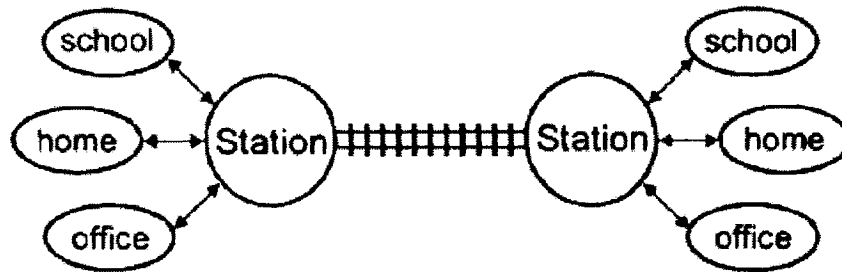
Types de statut juridiques

- Les compagnies privées commerciales. La plupart des grands opérateurs nord-américains comme Communauto à Montréal font partie de cette catégorie.
- Les opérateurs qui n'ont pas pour but de faire du profit ; elles peuvent être gérées par les collectivités locales. On retrouve dans cette catégorie City CarShare à San Francisco par exemple.
- Les Coopératives qui sont gérées par les membres qui achètent au départ une part de l'organisation. Ceci correspond à peu près aux droits d'adhésion demandés par les autres types d'opérateurs. On retrouve dans cette catégorie des coopératives à Calgary, Vancouver et Edmonton entre autre.

Le TCRP (2005) donne la liste complète des différents opérateurs nord-américains et leur mode d'administration. (Voir Tableau A-1 en annexe)

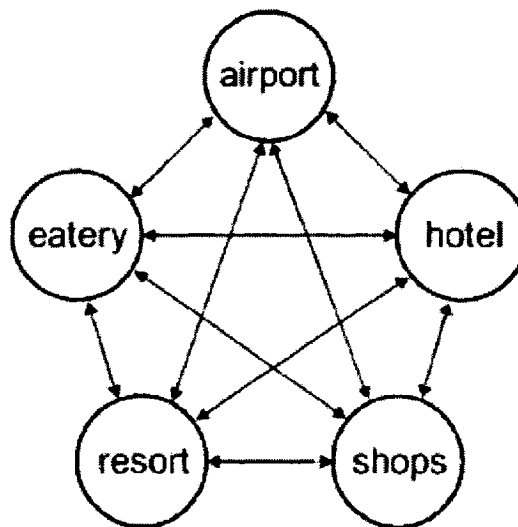
Types de modèles opérationnels

- Les services d'autopartage classiques, déjà décrits en introduction consistent en une flotte de véhicules répartis dans des stationnements dispersés sur le territoire de desserte. Les usagers, après avoir réservé leur véhicule peuvent l'utiliser durant une période prédéfinie. Ils obtiennent les clés du véhicule directement sur le lieu d'utilisation (dans un coffret sur la station ou directement dans le véhicule). A la fin de cette période, l'utilisateur doit ramener le véhicule dans un stationnement (généralement le même qu'au départ). Il est ensuite facturé à la fin de chaque mois en fonction de l'usage qu'il a fait du service (km parcourus et durée d'utilisation) plus des frais d'abonnement.
- Les « station cars » : ce système est en général associé à une infrastructure de transport lourd comme le métro ou le train (voir Figure 1-2). Ce système est uniquement utilisé pour des trajets de type gare - domicile ou gare - lieu de travail. On peut généraliser ce type de service en offrant plus de stationnements dans divers centres d'activités, ainsi les usagers utilisent les véhicules pour des trajets allers simples uniquement (voir Figure 1-3).



(Barth, Han, & Todd, 2001)

Figure 1-2: "Station cars" à simple station, couplé avec une infrastructure lourde de transport



(Barth, Han, & Todd, 2001)

Figure 1-3 : "Station cars" à stations multiples

La principale différence entre les « station cars » et les services d'autopartage classiques réside dans le type de trajets et d'utilisateurs qu'elle vise. Alors que les « station cars » sont basées sur les trajets quotidiens (domicile - transport en commun ou transport en commun - travail) et fonctionnent généralement sur la base d'un abonnement mensuel, les services classiques offrent généralement une facturation fonction de l'usage et chaque véhicule est utilisé par un plus grand nombre d'utilisateurs.

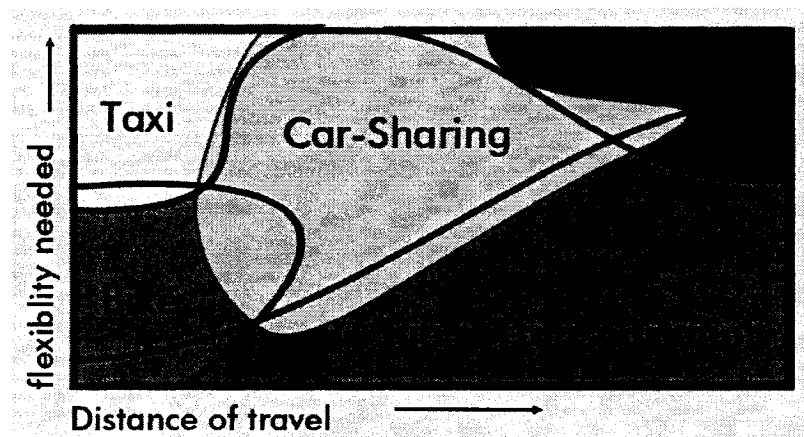
A la fin des années 90, les « station cars » étaient plus nombreuses et regroupaient plus d'utilisateurs que les services classiques aux États-Unis. Elles ont été depuis largement dépassées par les services classiques d'autopartage et il ne restait en 2003 que deux systèmes « station cars » (Shaheen, Schwartz, & Wiprywski, 2004). Les organisations

classiques ont parfois intégré le principe dans leur service et font des offres spéciales pour ce type d'usage.

1.4 La place de l'autopartage dans le transport urbain

Les transports urbains offrent un panel de modes de transports alternatifs à la voiture particulière : transport en commun, vélo, marche, taxi, mais il reste néanmoins des déplacements qui nécessitent l'usage d'une automobile. L'autopartage se veut la réponse à ce problème, en effet elle permet à des ménages de ne pas être contraints d'acquérir un premier ou un second véhicule.

La Figure 1-4 montre la place de l'autopartage vis-à-vis des autres modes. On observe que ce service est destiné à des déplacements de moyenne distance qui nécessitent une flexibilité élevée ; par exemple des déménagements ou des déplacements débutant ou se destinant à des zones non couvertes par le transport en commun. Cette figure montre aussi la place centrale que pourrait tenir l'autopartage dans les transports urbains.



(Schwartz, 1999)

Figure 1-4 : Place de l'autopartage dans les transports urbains

Les deux alternatives les plus vraisemblables à l'autopartage semblent néanmoins être le taxi et la location d'automobile. Il y a trois différences importantes entre la location de voiture et l'autopartage (TCRP, 2005). D'abord, l'autopartage propose des véhicules pour de courtes durées ; ensuite l'organisation est décentralisée, les usagers accèdent à leur véhicule par eux-mêmes, sans voir de représentant de l'organisation dans un des

stationnements. Pour finir, les deux services diffèrent par leur facturation, les frais liés aux pleins d'essence et à l'assurance sont inclus dans la tarification des services d'auto partage. On peut ajouter que le but principal de l'autopartage est souvent d'offrir une alternative à la possession auto, ainsi les usagers de l'autopartage sont les résidents locaux alors que ceux de la location sont plutôt les visiteurs (touristes ou travailleurs).

Comme le montre la Figure 1-4, ces deux types de structures sont partiellement sur le même marché et certains organismes collaborent pour satisfaire leur clientèle. Ainsi, en Amérique du Nord des opérateurs d'autopartage comme City CarShare à San Francisco ou Communauto à Montréal peuvent offrir à leurs usagers la possibilité d'utiliser les services des entreprises de location pour certaines longues utilisations. En Europe, on observe aussi ce rapprochement : certaines entreprises de location offrent également un service d'autopartage à partir de la même flotte de véhicules (Meaton, Starkey, & Williams, 2003). Communauto à Montréal, en plus d'offrir des offres avec d'autres loueurs, offre aussi un service inter-réseau pour les trajets longs avec leur flotte ; en fait les usagers choisissent parmi les loueurs partenaires de leur opérateur d'autopartage afin de pouvoir accéder à la flotte du loueur qui offre un éventail de véhicules plus large.

1.5 Le marché de l'autopartage

Avec l'apparition et surtout la croissance de ce « nouveau » mode sur le marché du transport urbain, de nombreux programmes de recherche ont été menés pour déterminer quelle place était et pourrait être occupée par l'autopartage sur ce marché.

Il apparaît que l'autopartage, même dans les pays où il a été implanté il y a longtemps n'est que très peu utilisé. En Suisse par exemple moins de 1% de la population était usager en 2001 et 0,12% des titulaires de permis de conduire Allemand utilisaient l'auto partage (Schwieger, 2004). En Amérique du Nord l'autopartage est largement moins répandu, cela montre que dans cette région ce service a le potentiel d'être utilisé par beaucoup plus de monde.

Les auteurs du *TCRP Report 108* ont mené, une enquête auprès de toutes les organisations d'autopartage d'Amérique du Nord pour mieux évaluer les niches de ce

marché. La suite de cette section, inspirée de cet ouvrage, sera constituée de deux sous sections : une concernant les aspects démographiques et l'autre concernant les aspects géographiques.

1.5.1 Caractéristiques démographiques des usagers de l'autopartage

L'étude menée par le TCRP consiste en une enquête auprès de tous les usagers de l'autopartage d'Amérique du Nord administré par questionnaire Internet. Ce questionnaire est disponible dans les annexes du *TCRP report 108* (2005). Cette Enquête est donc faite à partir de préférences ou de comportements déclarés et non observés ou dérivés.

Le volume de réponses complètes et valides pour être traitées a atteint 11% des membres contactés ce qui représente 5% des usagers. La suite de la section donne les principales caractéristiques des usagers nord américains de l'autopartage selon cette étude.

Age

L'âge moyen des usagers de l'autopartage est de 37.7 ans. Ils sont donc bien plus jeunes que la majorité des conducteurs. On remarque également que la cohorte la plus importante (39%) est celle regroupant les personnes âgées entre 25 et 34 ans, elle est suivie par les 35 – 44 (27.4%).

Selon la littérature, l'utilisateur moyen est âgé entre 35 et 45 ans. Pour Robert (2000), la majorité des membres de Communauto sont âgés de 30 à 49 ans ; on retrouve aussi des valeurs telles que 30 à 40 ans pour les usagers Allemands ou Hollandais (Harms & Truffer, 1998). En Amérique du Nord l'âge moyen varie en fonction du type de structure, on peut cependant parler sur ce marché d'une moyenne de 35 ans (Brooks, 2004).

Revenu moyen

La moitié des répondants ont déclaré faire partie d'un ménage qui percevait un revenu d'au moins 60 000 \$US alors que 13% des usagers font partie d'un ménage percevant moins de 30 000\$US et 18% dans des ménages disposant de plus de 100 000\$US.

Les différentes études estiment que les usagers de l'autopartage font, en majorité partie des classes moyennes élevées. L'étude de Robert (2000) concernant Communauto à Montréal parle de revenus variables mais note que 31% des abonnées disposent de plus de 40 000 \$CAN. Brooks (2004), pour les États-Unis estimait que les usagers de l'autopartage représentaient, sur le plan des revenus, une bonne représentation de la population nationale. En Allemagne 20% des abonnées étaient dans des ménages à faible revenu et 18% dans des ménages à très haut revenu (Harms & Truffer, 1998).

Niveau d'éducation

Les usagers de l'autopartage ont généralement un niveau d'étude élevé. 35% des répondants ont un baccalauréat et 48% sont post-gradués alors que seuls 2% d'entre eux n'ont aucun diplôme. Selon certains, un fort niveau d'éducation semble être le facteur le plus important dans la probabilité de devenir adhérent à l'autopartage (Lane, 2005).

Genre

Concernant le sexe des répondants on note qu'il y a plus de femmes que d'hommes (55% contre 45%). Cependant diverses études montrent qu'il n'y a pas de véritable règle quant à la prédominance d'un sexe sur l'autre (Brooks, 2004).

Taille des ménages

Les usagers du service d'autopartage sont généralement dans des ménages d'au moins deux personnes (64% des répondants). Cependant, dans certaines villes ce n'est pas le cas (Harms & Truffer, 1998).

Motorisation

Parmi les répondant au sondage du TCRP, 87% des canadiens adhérent vivent dans des ménages qui n'ont pas de véhicule contre 67% des américains. Cette différence explique la différence de ratio abonnés par véhicule observée en §1.2.2. En effet, les canadien adhèrent plus souvent au service d'autopartage pour avoir accès à une automobile que les américain à qui l'adhésion à l'autopartage procure la possibilité d'utiliser un deuxième ou troisième véhicule.

1.5.2 Caractéristiques des zones d'implantation de l'autopartage

Les zones où l'autopartage semble fonctionner correctement et où sa part de marché augmente régulièrement ont des caractéristiques particulières. Selon différentes études on peut avancer que les facteurs favorisant l'implantation de l'autopartage sont les suivantes (Celsor & Millard-Ball, 2007; Meaton & Low, 2003; Muheim & al, 1998).

- Une forte pression pour le stationnement : l'automobile particulière devient une contrainte.
- La possibilité de vivre sans véhicule dans le quartier. Si les habitants peuvent travailler et accéder aux différents services qu'ils désirent dans leur voisinage, ou s'ils ont accès à un service de transport en commun efficace, ils choisiront d'adhérer à l'autopartage pour des motifs particuliers.
- Une forte densité de population. Ce facteur est lié aux deux précédents. En plus le fait d'avoir une densité élevée augmente forcément le nombre de personnes potentiellement intéressées.

1.6 L'autopartage à Montréal

La grande région de Montréal regroupe 3,2 millions de personnes réparties sur un territoire de 5400 km². Elle fait aussi office de métropole régionale, par son économie, sa taille et le seul aéroport international de la province. Elle draine un nombre important de visiteurs. Les zones les plus denses en terme de population sont situées dans le centre ville de Montréal (la partie centrale de l'Ile de Montréal). Pour répondre aux exigences d'une telle région, Montréal est doté d'un réseau routier complet, d'un réseau de transport collectif comportant des infrastructures lourdes (métro et train de banlieue) et des lignes d'autobus et de plusieurs pistes cyclables. Depuis quelques années l'autopartage est également de plus en plus présent dans le centre de la métropole. Avec environ 11 000 abonnés Communauto, qui offre ce service dans la métropole est l'une des plus importantes organisations d'autopartage du continent nord américain.

Communauto: premier service d'autopartage d'Amérique du Nord

C'est en 1994 à Québec que, pour la première fois sur le continent Américain, une entreprise propose un service d'autopartage. Cette entreprise s'appelle Auto-Com et opère exclusivement à Québec. Elle est, au départ, une coopérative où une quinzaine de personnes se partagent l'usage de trois véhicules. Un an plus tard, plus de cent personnes ont adhéré au service et décision est prise d'implanter le service à Montréal. Communauto a donc commencé ses opérations en 1995 après un changement de statut pour une compagnie privée. Les deux antennes ont continué à opérer dans les deux villes sous deux noms et statuts juridiques différents jusqu'en 1997 où la compagnie Auto-Com a été dissoute pour fusionner avec Communauto. Le nom de Communauto n'a cependant été transféré à Québec qu'en 2000. Aujourd'hui Communauto offre l'autopartage dans quatre agglomérations de la province: Montréal, Québec, Gatineau et Sherbrooke. C'est cependant à Montréal qu'est situé la majeure partie des usagers, des stations et des véhicules.

Communauto est donc aujourd'hui une entreprise commerciale privée. Elle offre un service classique d'autopartage. Sa structure est donc composée de plus de 13000 abonnés, de véhicules (+ de 700) et de près de 250 stations (dont environ 160 à Montréal).

Le service offert aux abonnés est similaire à celui décrit plus haut.

Les membres payent un droit d'adhésion de 500\$ servant à faciliter la trésorerie de l'entreprise. Il est remboursable quand le membre décide de quitter le service. Chaque année, les usagers doivent également souscrire un abonnement. Ils ont le choix entre 3 abonnements (de 35 à 350\$) influençant le coût kilométrique de chaque utilisation (entre 0.16 et 0.19\$/km). (www.communauto.ca)

Une fois dans le service, un abonné peut l'utiliser. Pour chaque utilisation, il doit réserver à l'avance le véhicule qu'il désire soit par internet, soit par téléphone. Il doit à cette étape, faire le choix du type de tarif qu'il désire (local ou inter-réseau) et indiquer la plage horaire durant laquelle il souhaite disposer du véhicule. Les deux tarifs proposés

permettent aux abonnés de bénéficier de coûts préférentiels pour les utilisations de longue distance grâce au tarif inter-réseau. L'abonné peut annuler toute réservation sans frais, pourvu qu'il le fasse moins de deux heures avant le début de celle-ci.

Lorsqu'il a complété sa réservation, l'abonné bénéficie du véhicule durant la période. S'il souhaite l'utiliser, il doit se rendre à la station où le véhicule se trouve. Il y récupère les clés qui sont situées dans un boîtier à proximité de la station. Dès lors la seule contrainte que l'abonné doit respecter est de ramener le véhicule avant la fin de la plage de réservation dans la même station où il l'a empruntée. En effet, chaque véhicule est exclusivement attribué à une station. Si l'abonné restitue le véhicule en retard, des frais supplémentaires lui seront appliqués.

Chaque abonné est ainsi facturé en fonction du nombre, de la durée et de la distance parcourue lors de toutes les utilisations du mois.

1.7 Principes de l'étude

La présente étude vise donc à caractériser le système d'autopartage que l'on peut appréhender comme un système orienté objet composé de 3 entités différentes : l'utilisateur, le stationnement et le véhicule. Cette étude s'articule autour de la définition d'indicateurs de performance, d'efficacité ou de qualité permettant de dresser un portrait quantitatif et systématique du service, selon des perspectives d'opérateur et d'utilisateur. L'évaluation se fait en comparant différents portraits relatifs à des circonstances spatio-temporelles diverses.

Afin de mesurer l'évolution du service au fil des ans, nous étudierons d'abord trois mois de septembre consécutifs : 2003, car c'est à cette époque que la précédente grande enquête Origine-Destination a été faite dans la grande région de Montréal, puis 2004 et 2005.

Puis, pour appréhender les variations d'usage du service en continu, le choix a été fait d'étudier des périodes d'une durée d'au moins un an. Cette étude longitudinale montrera l'évolution temporelle de l'usage suivant les saisons, et la survie de ces derniers à différents termes.

Communauto ayant effectué un sondage au mois de septembre 2004, le rapprochement entre les résultats de ce sondage et ceux de l'enquête Origine-Destination régionale sera finalement abordée au travers de l'étude d'un quartier.

La Figure 1-5 est un schéma de principe de la structure de l'étude menée dans cet ouvrage.

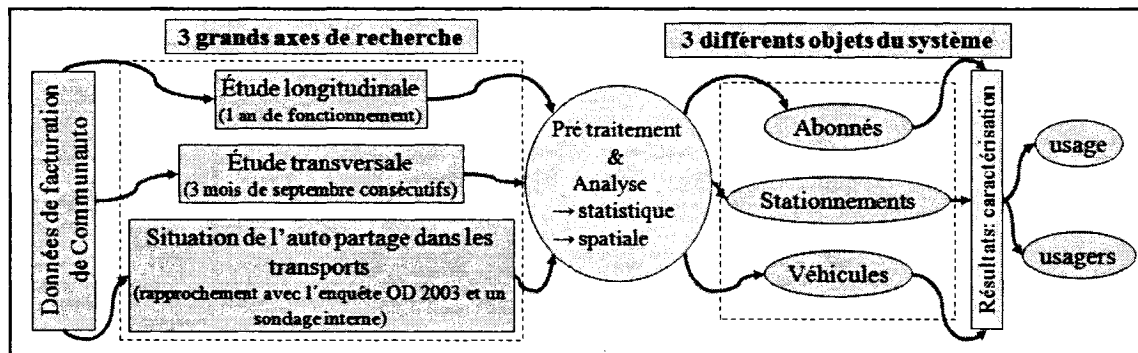


Figure 1-5: Schéma de principe de l'étude sur les données transactionnelles

CHAPITRE 2 : SYSTÈME D'INFORMATION

Afin de faire le portrait du service d'autopartage et de mesurer son efficacité, nous allons, dans cette partie, définir les différents indicateurs et les outils aptes à caractériser le service. Le point de départ de l'étude étant la base de données transactionnelle, nous avons un nombre très important d'informations. Il nous faudra, afin de développer une méthode systématique d'étude de ce service, standardiser cette base de données. Puis, pour enrichir celle-ci, la croiser avec les bases de données connexes disponibles et développer des indicateurs pertinents.

La présente partie vise à mieux appréhender le travail de recherche en présentant le système d'information qui soutient la démarche : les différentes bases de données utilisées et leurs relations seront ainsi mises en évidence. Chaque élément et chaque indicateur vont également être définis et expliqués dans cette partie.

2.1 L'autopartage : un système orienté objet

Comme nous l'avons dit précédemment, le système est composé de trois différents éléments : le stationnement (ou station), le véhicule et l'utilisateur (ou abonné). Il peut donc être observé suivant différents axes et l'efficacité recherchée ne sera pas nécessairement la même suivant l'objet observé et l'entité observatrice. Ainsi, un abonné cherchera à optimiser son coût ou son utilité (distance d'accès, véhicule disponible...) alors que les dirigeants de l'entreprise chercheront à optimiser le côté opérationnel (utilisation du parc automobile et des stationnements disponibles). L'analyse va donc s'attacher à faire ressortir ces différentes notions, elle portera successivement sur chacun des objets en faisant ressortir des indicateurs pertinents pour ces deux « observateurs », on peut la schématiser comme dans la Figure 2-1.

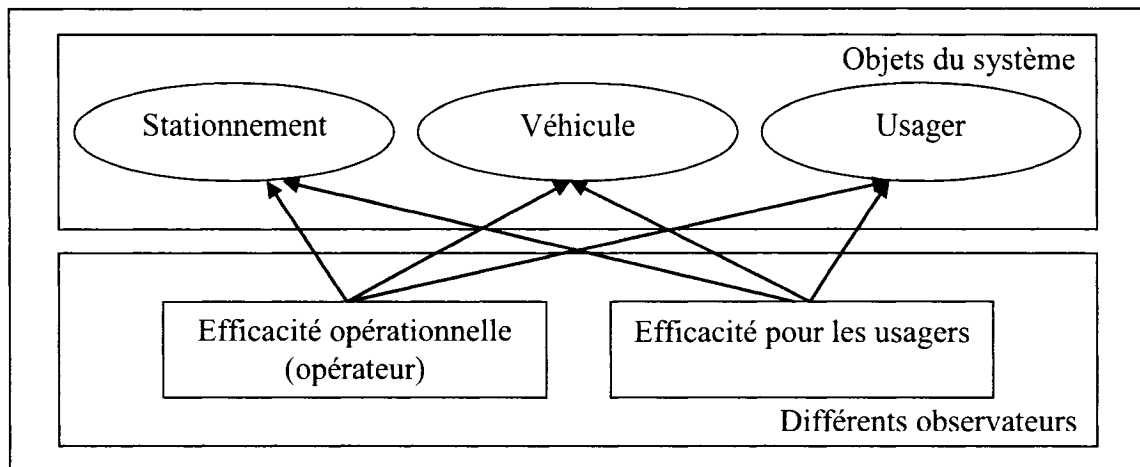


Figure 2-1 : Schéma de principe de l'approche du système

Chacun des objets du système comporte plusieurs attributs relatifs à différentes notions : l'espace et le temps sont les plus importantes. En effet pour qu'une transaction ait lieu, il faut que tous les objets mobiles (véhicules et usagers) se retrouvent en un même lieu (la station) au même moment. La Figure 2-2 représente le schéma du système d'autopartage selon un modèle orienté objet (Trépanier,1999). On dénombre trois points de vue distincts pour observer ce service. Le premier est l'offre de service, les moyens mis en place par les opérateurs pour offrir du service : les stations et les véhicules. Le second constitue la demande, il regroupe les abonnés du système qui peuvent accéder au service. Le lien entre l'offre et la demande constitue le troisième point de vue : c'est l'utilisation du service. L'abonné, s'il souhaite utiliser le service, doit choisir quel élément offert il va utiliser : tout d'abord la station, puis le véhicule de cette station. Une fois la réservation effectuée, soit par internet soit par téléphone, elle est enregistrée comme une transaction par le système de gestion du service. L'étape suivante consiste en l'utilisation effective du service, si la transaction validée comporte un déplacement non nul, la transaction est considérée comme une utilisation et l'abonné comme un membre actif. Dans un souci de rigueur, les différentes notions seront définies dans la section suivante.

Les données disponibles pour cette étude ne permettent pas l'observation détaillée de chaque déplacement, on n'en connaît que les attributs principaux : temps et distance qui

sont détaillés en 2.3. Néanmoins une partie de la flotte actuelle de Communauto est équipée d'un GPS (Global Positioning System) qui enregistre le parcours suivi lors de chaque utilisation, le traitement de ces données permettrait donc de connaître de façon détaillée toute la chaîne de déplacements effectuée par l'abonné durant l'utilisation du service : la dimension spatiale serait donc une nouvelle perspective.

La Figure 2-2 est une représentation simplifiée du système d'autopartage selon une approche orientée objet (Morency, Trépanier, & Martin, 2007). La version complète est disponible en annexe (Figure A-2)

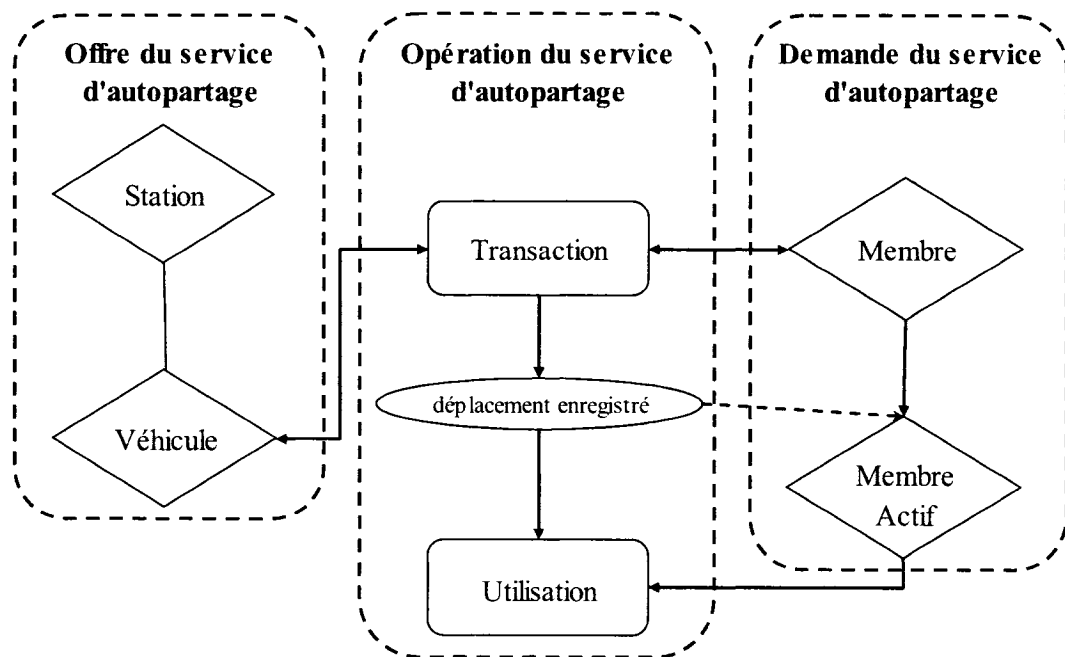


Figure 2-2 : Système orienté objet simplifié du système d'autopartage

2.2 Terminologie retenue pour l'étude

L'autopartage n'ayant que récemment commencé à être étudié, on trouve plusieurs définitions pour chacun des éléments composant le système. Ainsi par exemple, les « stations » sont aussi appelées « stationnements », « station-cars » ou encore « parking lot » (les deux dernières émanant de la littérature américaine). Le but de cette section est donc de définir clairement chacun des termes utilisés par la suite. Certaines de ces définitions proviennent de Gilbert (2006).

- Un abonné est un membre du service Communauto qui est autorisé à conduire les véhicules mis à sa disposition par l'entreprise. L'abonné principal est l'abonné répondant et une seconde personne peut être associée au même compte en tant que co-abonné. Ces personnes doivent nécessairement demeurer au même domicile. On les appellera parfois usagers.

- Une réservation est une plage horaire réservée par un abonné pour un véhicule choisi. Le statut d'une réservation peut être actif ou annulé. Tant et aussi longtemps qu'elle est active, la voiture n'est pas disponible pour un autre abonné à la même période. Les journées débutent à 0H00 et se terminent à 23H59 de la même date, minuit étant 0H00 la date suivante. Les réservations peuvent seulement débuter à l'heure pile ou aux 30 minutes. La plage horaire réservée doit être de 30 minutes minimalement et elle peut s'échelonner jusqu'à une durée de 30 jours.

- Une transaction est une réservation active ou annulée qui apparaît sur la facture mensuelle d'un abonné.

- Une utilisation est une réservation active qui affiche un kilométrage non nul. Ce qui signifie que la voiture a été utilisée par l'abonné.

- Une station est un lieu où un véhicule appartenant à Communauto doit être récupéré et retourné. À noter que chaque véhicule est assigné à une seule station.

- Un véhicule est une automobile appartenant à l'opérateur d'autopartage.

2.3 Les différentes tables de la base de données

Afin d'étudier le service d'autopartage dans une optique opérationnelle nous disposons d'une base de données regroupant des tables de différentes natures provenant directement de l'opérateur. La suite de ce chapitre détaille chacune de ces tables : transactionnelle, relative aux abonnés, aux véhicules et aux stations.

2.3.1 Base de données : table transactionnelle

Nous disposons de différents échantillons de données de facturation (qui couvrent des périodes différentes). Suivant la date à laquelle la table se réfère, les différents champs ne sont pas identiques. La standardisation vise donc à uniformiser toutes ces tables afin

de développer une application qui traitera systématiquement ces données. La table regroupant les transactions fournie par Communauto comporte les champs recensés dans le Tableau 2-1.

Tableau 2-1: Description des champs de la base de donnée brute

Nom du champs	Exemple	Description
ID	184408	Identificateur dans la base de données
res_date_inscr	01/12/2005	Date de la réservation
res_id	892387	Numéro de la réservation : (identifiant de la transaction)
veh_id	1146	Numéro de véhicule (identifiant du véhicule)
mem_id	13449	Numéro de membre (identifiant de l'utilisateur)
res_type	L	Type de tarif (Local ou inter-réseau)
res_date_deb	31/12/2005	Début et fin de la location
res_heure_deb	18h00	
res_date_fin	01/01/2006	
res_heure_fin	01h30	
res_penalites	0,00 \$	Pénalités appliquées à la réservation
res_code_penalites		Code indiquant le type de pénalité appliqué
Res_statut	Active	Statut de la réservation
res_odom_dep	140448	Km du véhicule au départ
res_odom_arr	140478	Km du véhicule au retour
Res_credit	0	Crédit fait au membre pour ses frais remboursables (essence...)
res_km_parcourus	30	Distance parcourue
res_type_trans	RPI	Informations sur la réservation (RPI : par internet)
res_cout_total	26,40 \$	Coût sur la facture
res_tarif applique	L	Tarif appliqué
Res_forfait	C	Type de forfait annuel souscrit par le membre

Cette table a pour but la facturation mensuelle aux abonnés, on y retrouve donc les éléments nécessaires à cette facturation en identifiant : l'utilisateur, le véhicule et, par voie de conséquence le stationnement. Après cette identification, on retrouve tous les éléments permettant de fixer le « prix » de la réservation : la durée, la distance parcourue, le statut ainsi que le type de tarif demandé. Pour connaître le tarif applicable au kilomètre, le forfait, Communauto utilise une seconde table qui recense les types d'abonnements souscrits par chacun des usagers. La section suivante détaille les différents éléments essentiels à la facturation :

Numéro de transaction, d'abonné et de véhicule

Ces numéros essentiels et uniques identifient les objets impliqués dans la transaction.

Les numéros d'abonnés donnent parfois des informations intéressantes sur la teneur de la transaction, ainsi les abonnés dont le numéro est compris entre 10 000 et 10 999 correspondent à un compte corporatif, les transactions effectuées par des abonnés dont le numéro est inférieur à 6 sont en fait des utilisations effectuées par les employés de Communauto à des fins de cueillette ou d'entretien. Il est à noter que le numéro d'abonné présent dans cette base de données est systématiquement celui de l'abonné principal, même si c'est un co-abonné qui a effectué la réservation et qui a utilisé le véhicule. Toutes les réservations effectuées par les différents abonnés associés à un même compte sont portées sur la facture mensuelle de l'abonné principal (ou répondant).

Les numéros des véhicules sont attribués dans l'ordre croissant, on peut donc approximativement estimer l'ancienneté du véhicule au sein de la flotte. D'autre part les véhicules étant associés à une station unique^b, c'est à partir du numéro de véhicule que l'on détermine la station utilisée. Cette station est par ailleurs l'origine et la destination finale de l'utilisation.

Tarif applicable

Cette information relative au choix fait par l'abonné lors de la réservation entre le tarif local ou le tarif inter-réseau est disponible dans les champs «res_type» et «res_tarif_applique».

Période de réservation

Cette information est indispensable pour les opérateurs d'un service d'autopartage car d'une part elle permet de facturer les réservations (le tarif varie en fonction de la durée d'utilisation), et d'autre part c'est un élément essentiel pour la gestion en temps réel de la disponibilité des véhicules de la flotte. La connaissance de la date et de l'heure de chacun des départs et retours permet à l'opérateur de proposer à ses abonnés qui le

^b Certains véhicules sont parfois réaffectés à de nouveaux stationnements, il arrive même qu'ils soient délocalisés dans d'autres villes. La plupart de ces changements sont détectables ou connus mais il est probable que certains de ces changements ne soient pas détectés.

désirent un véhicule disponible pour la période de réservation choisie. L'opérateur utilise aussi des informations spatiales (voir 2.3.2) pour affiner la proposition offerte aux abonnés demandeurs.

Distance de parcours

Cette information est dérivée des kilométrages enregistrés au départ et à l'arrivée de chacune des utilisations. On retrouve ces informations dans la présente base de données car c'est un élément majeur de la facturation. Le tarif kilométrique dépend aussi du type d'abonnement souscrit par l'utilisateur qui est disponible dans la base de données des abonnés.

Crédit

Les abonnés de Communauto étant parfois amenés à payer divers frais de fonctionnement des véhicules comme par exemple le plein d'essence, ce champ répertorie toutes ces créances qui seront déduites de la facture mensuelle de l'abonné.

Statut des réservations

Le statut d'une réservation (active ou annulée) indique si la réservation va être facturée comme une utilisation ou si les seuls frais de réservation vont s'appliquer.

Données relatives à la facturation

D'autres champs nous informent sur le coût facturé de la transaction et sur le type d'abonnement de l'utilisateur (qui est dérivé de la base de données des usagers)

2.3.2 Base de données : table des abonnés

La table des abonnés est aussi fournie par Communauto, elle regroupe des informations relatives à chacun des abonnés enregistrés. Communauto a volontairement retiré de cette base certains champs afin de protéger la vie privée de ses membres. Le

Tableau 2-2 représente la table des abonnés telle qu'elle a été insérée dans la base de données avec une description succincte de chacun des champs.

Tableau 2-2 : Description des champs de la table des abonnés

Nom du champ	Exemple	Description
mem_id	17118	Numéro de membre (identifiant de l'utilisateur)
mem_sexe	127	127: homme; 128: femme
mem_langue	2	Identification de la langue de correspondance
mem_date_abonnement	07/12/2006	Date d'adhésion au service
mem_intCodeVilleUtilisation	59	Code de la ville où il utilise le service, 5 : Montréal
mem_intOccupation	110	Code correspondant à l'activité principale de l'abonné
mem_intEtatAbonnee	106	Code correspondant à l'état de l'abonnement (actif ou non)
mem_NoAppt	64	Adresse de l'abonné
mem_NoCivic	1	
mem_Rue	Rosemount	
mem_Ville	Westmount	
mem_ProvinceEtat	Québec	
mem_Pays	Canada	
mem_CasePostale		
mem_CodePostal	H3Y 3G6	
mem_DateRetrait	04/04/2007	Date du retrait de l'abonné
mem_retrait_cause	290	Code de la raison du retrait (déclaré)
mem_type_membre	9	Code correspondant au type d'abonnement utilisé
mem_station_preferee	Towers et Ste-Catherine	Station la plus utilisée
mem_station_plus_proche	Victoria Hall	Station la plus proche (orthogonalement)
mem_annee_naissance	1980	Année de naissance de l'abonné

La table des usagers a pour but d'identifier les membres du système. Elle permet aux opérateurs de correspondre avec les usagers, de s'assurer du statut de l'abonné pour adapter les factures au tarif en vigueur pour chacun des usagers. Elle est également utile pour dresser le portrait démographique des usagers du service. À des fins d'étude, le problème principal dans l'utilisation de ces données est l'aspect temporel : il est possible que les abonnés aient déménagé entre la période étudiée et la date à laquelle la base de données a été mise à jour. Si c'est le cas, il est difficile de le détecter et les analyses spatiales connaîtront des perturbations. La présente section vise à détailler les éléments importants de la table des usagers.

Identifiant de l'abonné

Le champ mem_id correspond au numéro unique de l'abonné, il est le même que celui de la table des transactions et permet donc d'identifier l'auteur de la transaction. Il est à noter que les co-abonnés ne figurent pas dans cette table puisqu'ils ont le même identifiant que l'abonné principal.

Données démographiques de l'abonné

Plusieurs champs recensent divers attributs démographiques des abonnés : on dispose ainsi de la langue parlée, du sexe, de l'année de naissance et de l'activité principale. Ces informations sont collectées durant l'entrevue d'adhésion. L'activité principale ou d'autres informations peuvent donc avoir changées depuis.

Données spatiales

Plusieurs champs permettent de dériver des informations spatiales sur les abonnés. Les données relatives à l'adresse de facturation par exemple, permettent de déterminer la position géographique (latitude-longitude) du domicile de l'utilisateur. C'est le plus souvent le point de départ de ses déplacements. Il est cependant possible que les utilisateurs ne disposent pas d'adresse dans la ville où ils utilisent le service. Cet aspect bien que marginal quantitativement, peut entraîner des biais dans certaines analyses.

Un second champ est dérivé de l'adresse de facturation il s'agit de la station la plus proche. Ce champ a pour but d'indiquer à l'abonné lors d'une réservation la position de la station la plus proche de son domicile. Ce champ est valide dans la plupart des cas mais il arrive que, de par la densité des stations et la méthode de calcul (distances orthogonales), ce ne soit pas la station la plus proche en suivant le réseau piétonnier.

Données relatives au service d'autopartage

Ces données regroupent encore une fois des informations factuelles et des informations déclarées. On retrouve ici les dates d'entrée et de sortie (s'il y a lieu) dans le système, on a aussi le forfait auquel les abonnés ont souscrit pour l'année en cours et qui servira à calculer le tarif des différentes transactions effectuées par l'abonné. Le champ station_préférée indique la station que l'abonné a choisi, cette information est utilisée pour faciliter la réservation (raccourci).

2.3.3 Base de données : table des véhicules

La table des véhicules apporte les informations relatives à chaque véhicule actif ou ayant été actif dans le système. Elle a également été fournie par Communauto. Le Tableau 2-3 donne un aperçu de cette table en décrivant chacun des champs qui la compose.

Tableau 2-3 : Description des champs de la table des véhicules

Nom du champ	Exemple	Description
veh_id	1124	Numéro du véhicule (identifiant)
veh_marque_modele	Toyota Echo	Modèle et marque du véhicule
veh_annee	2001	Année du modèle
sta_id	16	Numéro de la station à laquelle il est attribué
veh_sta_nom	Jean-de-Brébeuf	Nom de la station à laquelle il est attribué
veh_date_debut	03/05/2002	Date d'entrée dans le service
veh_date_fin	22/05/2007	Date de sortie du service
veh_equipement	air c. - b.rabat. - cd - pneus 4s.	Équipement du véhicule
veh_odo_actuel	192956	Odomètre du véhicule lors de la dernière mise à jour
veh_odo_facture	192956	Odomètre du véhicule à la fin de la dernière utilisation
veh_noserie	JTDBT123810105609	Numéro de série du véhicule

La table des véhicules a pour but d'une part d'identifier chacune des automobiles du système, elle recense les différents attributs la concernant et bien sûr, les informations permettant de facturer les transactions. La section suivante détaille les différentes informations regroupées dans cette base de données.

Identifiant du véhicule

Cette information est contenue dans un champ, elle est l'un des éléments essentiels à la facturation puisque c'est la clé qui permet de lier le véhicule à la base de données des transactions.

Identification et attributs du véhicule

Ces informations sont regroupées dans quatre champs différents. On retrouve ici le modèle, la couleur et l'année du véhicule mais aussi les équipements (pneus, sièges enfant, air climatisé...) dont il est doté. Ces informations sont accessibles aux abonnés lors de la réservation et leur permet de choisir le véhicule qui leur convient le mieux (dans la limite des disponibilités).

Informations relatives au système d'autopartage

Parmi ces informations on retrouve la date d'entrée et la date de sortie (s'il y a lieu) du système, le kilométrage actuel du véhicule ainsi que la station à laquelle il est attiré.

Les dates d'entrée et de sortie du système sont un élément important pour l'analyse de l'offre, elles permettent d'ajuster la capacité du système durant la période d'observation.

Le deuxième élément essentiel pour l'analyse contenu dans cette base de données est l'identification de la station liée au véhicule, elle permet, en regroupant les véhicules de la même station, de connaître l'offre de chacune des stations.

2.3.4 Base de données : table des stations

La table des stations constitue le dernier élément du système d'information sur les opérations du système d'autopartage dont nous disposons. Elle a également été fournie par Communauto. Le Tableau 2-4 donne un aperçu de cette table en décrivant succinctement chaque champ.

Tableau 2-4 : Description des champs de la base de données des stations

Nom du champs	Exemple	Description
sta_id	2	Numéro de la station (identifiant)
sta_nom	St-Sacrement	Nom de la station
sta_capacite_residuelle	1	Nombre de véhicules pouvant être ajoutés
sta_capacite_totale	16	Nombre de véhicules pouvant être stationnés simultanément
sta_codep	H2J	Partie du code postal de la station
sta_secteur	3. Plateau Mt-Royal	Identifiant du secteur où la station est située
sta_latitude	45,5246	Latitude de la station (degrés)
sta_logitude	-73,5805	Longitude de la station (degrés)
sta_abrev	StSac	Abréviation du nom de la station
sta_revenus	1166.7773837	Revenu engendré par la station

Cette dernière table a pour but de recenser toutes les stations du système. La section suivante détaille les informations données par cette table.

Identifiant de la station

Cette information est contenue dans le premier champ de la table. Elle est l'identifiant unique de la station qui permet de lier cette base de données aux autres.

Données spatiales sur la station

Ces informations sont contenues dans quatre différents champs, la précision varie suivant les champs.

Un champ indique le secteur auquel appartient la station, les différents secteurs sont reliés à un découpage géopolitique de la région cette information est donc assez imprécise.

Les données les plus précises sur la position géographique de la station sont la latitude et la longitude de celle-ci qui permettent un positionnement très précis.

Données opérationnelles

On dispose ici d'une donnée importante concernant l'offre : la capacité de la station à la dernière mise à jour de la table. Cette information est décomposée en deux champs différents : la capacité totale, qui indique le nombre maximal de véhicules qu'il est possible de stationner simultanément (ce nombre résulte de l'accord passé avec les pouvoirs publics locaux). Le deuxième champ indique le nombre de places disponibles, la différence des deux donne le nombre de véhicules en service à la mise à jour de la table.

La capacité indiquée ici étant une « photographie » au moment de l'extraction des données, elle ne peut être utilisée suivant l'échantillon étudié. Nous préférons dans cette étude dériver la capacité des observations de l'échantillon : les seuls véhicules ayant été observés (dans les transactions) permettront de déterminer la capacité des différentes stations sur la période étudiée.

2.3.5 Synthèse

Les différentes tables de cette base de données sont donc intimement liées. Afin de faire une analyse pertinente, il faut donc les utiliser conjointement. Pour en faciliter l'exploitation, les données ont été intégrées dans un logiciel de traitement de base de données. La Figure 2-3 montre les liaisons entre les différentes tables mentionnées plus haut. Même si la plus grande partie des informations concernant l'utilisation et le fonctionnement du service d'autopartage sont fournies par la base de données transactionnelle, ces informations doivent être associées aux autres pour être vraiment pertinentes. Il est donc utile de dériver certains champs ainsi que d'enrichir ce système d'informations.

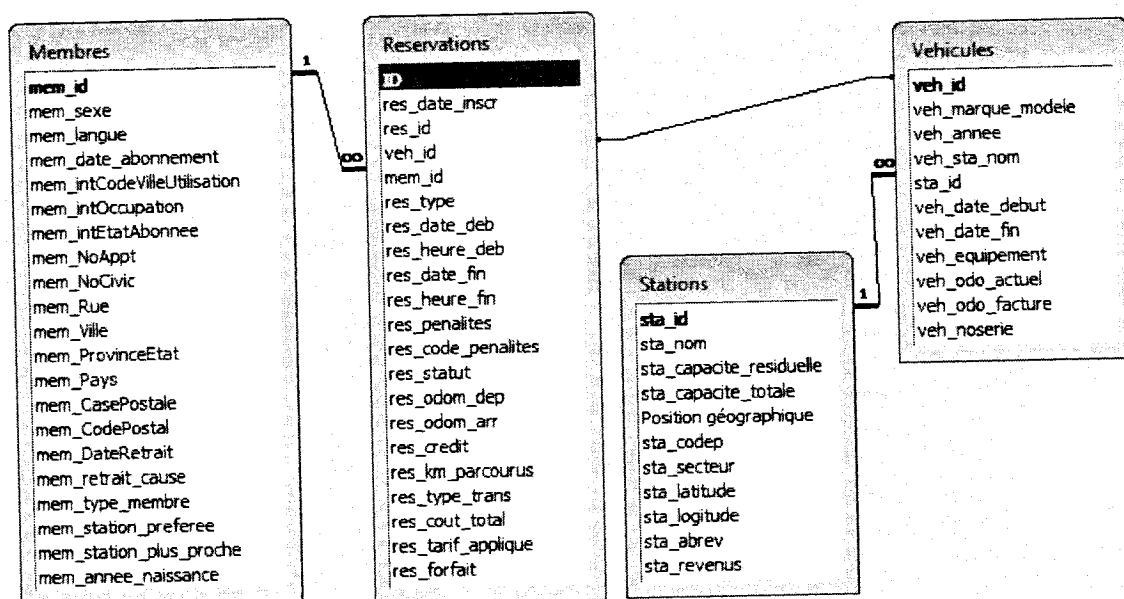


Figure 2-3 : Modèle relationnel de la base de données

Malgré la richesse de ces bases de données, il est parfois difficile d'obtenir toutes les informations nécessaires. A titre d'exemple, les périodes d'immobilisation des véhicules ne font pas partie des données traitées, on peut cependant les détecter mais sans précision. Tous les usagers et véhicules observés dans les transactions ne sont pas recensés dans les tables des abonnés et des véhicules dont on dispose pour la réalisation de ce mémoire. Il a donc été nécessaire d'éliminer les données incompatibles.

CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE

L'étude vise à faire le portrait du service, de son utilisation et à en évaluer la performance et la qualité au travers de ses différents objets. Cette étude étant la première menée sur ce service à partir de données de facturations; outre l'exploration de quelques pistes d'études opérationnelles, le défi méthodologique auquel elle est confrontée réside dans la formalisation de chacune des étapes de l'étude. Cette approche a pour but de permettre l'application stricte des méthodes dans des circonstances différentes. L'autopartage étant avant tout un système de transport, les indicateurs opérationnels qui seront définis dans ce chapitre seront, dans leur grande majorité, de même nature que ceux utilisés dans l'étude d'autre systèmes (tels que le transport en commun par exemple). Mais l'autopartage a ses singularités et les indicateurs qui permettent d'en mesurer le service doivent tenir compte de celles-ci.

Ce chapitre va donc définir chaque indicateur formellement. Pour pouvoir définir ces indicateurs, il est indispensable de définir et d'explicitier les différentes grandeurs et unités rencontrées dans l'étude. La formalisation d'une analyse scientifique nécessite également la définition d'une structure de notation permettant l'intelligibilité des raisonnements ainsi que des indicateurs développés.

Une fois les indicateurs construits et définis, il est possible de répéter les mêmes mesures sur d'autres échantillons. Il est donc important, pour pouvoir comparer deux situations différentes (sur le plan temporel ou spatial), d'appliquer strictement la même méthode.

La méthode développée ici se veut avant tout un premier moyen de pouvoir mesurer le service de l'autopartage et il sera nécessaire de la modifier si l'on cherche à définir de nouveaux indicateurs par la suite. Elle a été construite pour répondre aux besoins de cette étude et a donc évolué au fur et à mesure de l'avancement du projet.

On s'attachera donc, dans un premier temps, à définir les grandeurs, les ensembles et les notations utilisés dans l'étude. On définira ensuite les indicateurs utilisés pour mesurer le service dans la suite du mémoire. Le caractère spatio-temporel de ce service étant central, il faudra à chaque étape définir des périodes et des régions d'observation.

Il est à noter que la méthode développée dans ce chapitre ne s'attache qu'à l'étude des données décrites plus haut. Les éléments méthodologiques de l'étude du sondage menée dans le chapitre CHAPITRE 6 : sont situés dans la première partie du chapitre.

3.1 Notations

La standardisation et la précision des différents indicateurs développés pour l'étude impliquent une notation précise. Cette section établit les différentes notations et indices utilisés pour l'ensemble de l'étude.

3.1.1 Notations générales et définitions

Les utilisations sont répertoriées, ainsi que bon nombre de leurs attributs dans la base de données des transactions. Le Tableau 3-1 indique quelques notations se référant directement aux champs de cette table.

Tableau 3-1 : Notations des attributs des utilisations

Nom du champs	Exemple	Notation
res_id	892387	u
veh_id	1146	v
mem_id	13449	a
Sta_id	2	s
res_date_deb	31/12/2005	jdu
res_heure_deb	0,75	hdu
res_date_fin	01/01/2006	jfu
res_heure_fin	0,125	hfu
res_km_parcourus	30	du

Les ensembles du système

Afin d'étudier le système dans sa globalité on définit ici les grand ensembles :

Soit $\mathbb{R} = \{u\}$ l'ensemble des réservations enregistrées sur la période considérée.

Soit $\mathbb{U} = \{u | d_u > 0\}$ l'ensemble des utilisations faites sur la période considérée, on note que $\mathbb{U} \subset \mathbb{R}$. D'autre part, $card(\mathbb{U})$ est donc le nombre d'utilisations faites sur cette période.

Sous ensembles d'utilisation permettant d'étudier des objets particuliers:

Soit $\mathbb{U}_a = \{u_a\}$, l'ensemble des utilisations faites par l'abonné a

Soit $\mathbb{U}_v = \{u_v\}$, l'ensemble des utilisations faites avec le véhicule v

Soit $\mathbb{U}_s = \{u_s\}$, l'ensemble des utilisations faites à partir de la station s

Soit $\mathbb{A}_r = \{a | \exists u_a \in \mathbb{R}\}$ l'ensemble des abonnés ayant fait au moins une réservation sur la période observée.

Soit $\mathbb{A} = \{a | \exists u_a \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des abonnés ayant fait au moins une utilisation sur la période observée.

Soit $\mathbb{V} = \{v | \exists u_v \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des véhicules ayant été utilisés sur la période observée.

Soit $\mathbb{S} = \{s | \exists u_s \in \mathbb{U}\}$ l'ensemble des stations ayant été utilisées.

Durées d'utilisations effectives et temps de stationnement

Soit t_u la durée de l'utilisation u, $t_u = 24 \cdot (jfu - jdu) + (hfu - hdu)$, (en h)

Durant les utilisations, les véhicules sont utilisés pour se déplacer. Les abonnés utilisent généralement le service afin de se rendre sur le ou les lieux de diverses activités. Le véhicule n'est donc pas utilisé durant toute l'utilisation facturée. Nous admettrons que les utilisations à tarif local sont utilisées dans un milieu urbain (pour les utilisations au tarif inter-réseau, la durée étant généralement supérieure à 24h, elles se destinent le plus souvent à des régions plus éloignées). En milieu urbain, il est communément utilisé une vitesse moyenne de parcours de 40km/h (Aronsson, 2006) et (Gattis, 1999) ; en partant de cette vitesse nous pouvons segmenter la durée de chaque utilisation au tarif local en deux parties : la première étant le nombre d'heures roulées et la seconde le nombre d'heures stationnées (à l'extérieur ou à la station)

Soit $t_{ur} = \frac{d_u}{40}$ (en h) le temps roulé lors de l'utilisation u.

Soit $t_{u-st} = t_u - t_{ur}$ (en h) le temps stationné durant l'utilisation u.

Vitesse virtuelle de parcours

Comme expliqué avant, la durée d'une utilisation peut être segmentée en deux parties : temps roulé et temps stationné. Si l'on ne fait pas cette distinction on peut calculer un indicateur qui a la dimension d'une vitesse mais qui ne reflète pas la vitesse réelle du véhicule au cours de l'utilisation.

Soit $V_{vu} = \frac{d_u}{t_u}$ (en km/h) la vitesse virtuelle de parcours au cours de l'utilisation u .

Capacité observée des stations

La capacité des stations, bien que donnée dans la table des stations n'est pas fiable pour toute période d'étude: elle est donnée pour la date d'extraction de cette base de donnée. Pour obtenir une capacité correspondant à l'échantillon observé (capacité observée), la capacité V_s de la station s sera définie sur une base mensuelle ou hebdomadaire telle que :

Si un véhicule v est observé sur une semaine, il est considéré comme actif et est attribué à sa station. Ces véhicules v sont tels que : $\exists u_v \in \mathbb{U}_{sem}$

La capacité observée de la station est donc le nombre de véhicules lui étant attirés et ayant été observés sur la semaine « $_{sem}$ » ou le mois « $_m$ » : $V_{S_{sem}}$ ou V_{S_m}

3.1.2 Notations d'ordre temporel

Les notations suivantes visent à préciser la date ou la période de l'observation, les indices suivants seront utilisés si besoin est :

Soit h l'indice de temps entier correspondant à l'heure dans une journée ($h \in [0;24]$)

Soit j l'indice de temps entier correspondant au jour du mois ($j \in [1;31]$)

Soit sem l'indice correspondant à la semaine de l'année ($sem \in [1;53]$)

Soit m l'indice de temps entier correspondant au mois de l'année ($m \in [1;12]$)

Soit a l'indice de temps entier correspondant à l'année

Les indicateurs développés dans la suite sont définis pour un mois de fonctionnement. Les indices relatifs au temps seront donc éludés dans cette partie mais ils doivent être indiqués si besoin est.

La durée des observations étudiées est également une information importante notamment pour tous les calculs de fréquence, régularité...

Soit n_j entier, le nombre de jours d'observations.

Afin de situer les réservations dans le temps, la base de données nous fournit la date de départ et la date de retour, on peut donc en dériver la durée. Durant l'étude les utilisations seront amenées à être agrégées temporellement (par jour, par semaine, par heure...). Trois possibilités seront retenues pour la date prise en compte pour ces agrégations :

- la date de début
- la date de fin
- la date médiane (j_{medu}): c'est la date exactement située entre le début et la fin de

l'utilisation : $j_{medu} = \frac{(j_{fu} + h_{fu}) - (j_{du} + h_{du})}{2}$. Cette date permet de situer le moment d'utilisation de la voiture, elle est surtout utile pour les utilisations d'une durée comprise en 24 et 72 heures et ne doit pas être utilisée suivant les durées d'utilisations observées dans l'échantillon.

3.1.3 Notations d'ordre spatial

Soient $(X_k; Y_k)_{k \in \{s; a\}}$ (en mètres) les coordonnées de la station s ou du domicile de l'abonné a . Ces coordonnées sont données dans un système orthogonal : UTM (zone 18 pour Montréal) ou MTM (zone 8 pour Montréal): pour l'étude les coordonnées utilisées sont en MTM. Les coordonnées des abonnés sont dérivées de l'adresse postale de facturation de leur compte (base de données des abonnés). Celles des stations sont dérivées de leur position (latitude et longitude) en degrés décimaux donnés dans la table des stations.

Distances d'accès des abonnés au système

Les distances d'accès des usagers au système correspondent généralement à la distance séparant leur domicile de la station où ils prennent possession du véhicule. Même si il arrive que les usagers ne viennent pas directement de leur domicile, nous utiliserons cet

indicateur. Les distances d'accès ne sont pas calculées sur le réseau pédestre, les distances euclidiennes seront retenues ici.

Soit d_{a-s} la distance entre le domicile de l'abonné a et la station s.

$d_{a-s} = \sqrt{(X_s - X_a)^2 + (Y_s - Y_a)^2}$; (en m). Il faut cependant que les coordonnées soient de type orthogonal en mètre (UTM ou MTM).

Station la plus proche du domicile de l'abonné

Cette information est donnée dans la table des abonnés, elle indique la distance minimale d'accès et de ce fait la station théoriquement la plus attractive.

Soit Spa l'identifiant de la station la plus proche du domicile de l'abonné a.

3.2 Indicateurs relatifs aux abonnés

3.2.1 Volumes de service

Sur la période nj observée, pour les utilisations faites par l'abonné a ($u \in \mathbb{U}_a$) :

Soit U_a le nombre d'utilisations observées pour l'abonné a ($U_a = \text{card}(\mathbb{U}_a)$).

Soit S_a le nombre de stations différentes utilisées durant la période par l'abonné a.

Soit V_a le nombre de véhicules différents utilisés par l'abonné a.

Durée des utilisations (en heures)

Durée totale des utilisations de l'abonné a: $Ta = \sum_{u_a} tu$.

Durée moyenne des utilisations de l'abonné a : $t_{moya} = \frac{Ta}{Ua}$.

Durées minimum et maximum des utilisations de a : $t_{\min a} = \text{Min}(tu)$; $t_{\max a} = \text{Max}(tu)$.

Distance des utilisations (en km)

Distance totale parcourue lors des utilisations de l'abonné a: $Da = \sum_{u_a} du$.

Distance moyenne parcourue lors des utilisations de l'abonné a : $d_{moya} = \frac{Da}{Ua}$.

Distances minimum et maximum parcourues lors des utilisations de l'abonné a:
 $d_{\min a} = \text{Min}(du)$; $d_{\max a} = \text{Max}(du)$.

Fréquences d'utilisation

Soit $f_{ua} = \frac{U_a}{n_j} \cdot k$; $k \in \{1; 7; 30; 31; 365\}$; la fréquence d'utilisation du service par l'abonné a. la valeur de k dépend du type de fréquence que l'on souhaite obtenir. Pour une fréquence hebdomadaire, $k=7$, annuelle $k=365$ etc... La valeur de n_j peut aussi être variable et détermine différents niveaux de résolution.

3.2.2 Fidélité

Soit le ratio $U/V_a = \frac{U_a}{V_a}$; en utilisation par véhicule; $\frac{U_a}{V_a} \in [1; \infty[$

Il indique le nombre moyen d'utilisations effectuées par l'abonné a avec une voiture unique. Si U/V_a est grand, l'abonné est plutôt fidèle aux véhicules qu'il utilise, si U/V_a est égale à un, l'utilisateur a utilisé un véhicule différent à chacune de ses utilisations.

Soit le ratio $U/S_a = \frac{U_a}{S_a}$; en utilisation par station; $\frac{U_a}{S_a} \in [1; \infty[$

Il indique le nombre moyen d'utilisations effectuées par l'abonné à une station unique. Si U/S_a est grand, l'abonné est plutôt fidèle aux stations qu'il utilise, si U/S_a est égale à un, l'utilisateur s'est rendu à une station différente à chacune de ses utilisations.

3.2.3 Disponibilité

Soit S_{ar} le nombre de stations situées dans un cercle de rayon r autour du domicile de l'abonné a. On prendra généralement $r = 1000$ m.

Soit $V_{ar} = \sum_{da_s=0}^{da_s=r} Cs$ le nombre de véhicules théoriquement disponibles dans un cercle de

rayon r autour du domicile de l'utilisateur a. On prendra généralement $r = 1000$ m. Cet indicateur ne tient pas compte des utilisations (tous les véhicules de Sar sont dénombrés).

3.2.4 Application aux études longitudinales

Pour les études sur des périodes assez longues, un an par exemple, nous sommes confrontés à des problèmes d'unités. En effet, la période d'observation étant plus longue, les caractéristiques du service évoluent au cours de la période d'étude (évolution non négligeable au vu de la constante croissance de l'autopartage). Nous sommes donc contraints de suivre cette évolution en adoptant des résolutions temporelles plus fines que la période complète d'étude.

Ainsi pour une observation de plus d'un mois, la résolution retenue pour l'étude est la semaine. Les quantités seront donc segmentées en semaine pour être ensuite ramenées à la période d'observation.

Le nombre d'abonnés actifs sur un an sera exprimé en abonné-semaine (a-sem). De plus, un abonné sera compté comme actif dès sa première apparition dans le système et jusqu'à la fin de la période d'observation sauf si la date de sa sortie du système (donnée par la table des abonnés) intervient durant la période d'observation.

Par exemple, si la période d'observation est une année complète un abonné ayant fait des utilisations durant les semaines 4 et 28 sera compté comme actif à partir de la 4^{ème} semaine soit durant $52-3 = 49$ semaines : il représentera 49 a-sem.

Étude de la persistance d'activité

Elle est effectuée sur de longues périodes (plus d'un an). Le principe est de donner un attribut à chaque abonné (comme on utilise des marqueurs radioactifs en biologie). On attribue à chaque usager le numéro du premier mois ou de la première semaine où il a effectué une utilisation. On peut donc le suivre parmi les autres utilisateurs sur l'ensemble de la période d'observation.

À partir de ce suivi on peut définir un taux de persistance d'activité :

$$\Gamma pa_{x/m} = \frac{\text{Nombre d'abonnés dont } m \text{ était le premier mois d'activité actif après } x \text{ mois}}{\text{Nombre d'abonnés dont } m \text{ est le premier mois d'activité}}$$

Avec $\mathbb{U}_m = \{u | jdu \in m\}$ l'ensemble des utilisations qui ont débuté au cours du mois m , on peut déterminer $\mathbb{A}_m = \{a | u_a \in \mathbb{U}_m\}$ l'ensemble des abonnés actifs au cours de m .

Ainsi le taux de persistance d'activité est : $\Gamma pa_{x/m} = \frac{\text{card}(\mathbb{A}_{m+x} \cap \mathbb{A}_m)}{\text{card}(\mathbb{A}_m)}$

Cet indicateur mesure la part des abonnés toujours actifs après une période donnée écoulée depuis leur entrée dans le système.

3.3 Indicateurs relatifs aux véhicules

3.3.1 Volumes de service

Sur la période n_j observée pour les utilisations faites avec le véhicule v ($u \in \mathbb{U}_v$):

Soit U_v le nombre d'utilisations observées pour le véhicule v . $U_v = \text{card}(\mathbb{U}_v)$

Soit A_v le nombre d'abonnés différents qui ont utilisé le véhicule v .

Durée des utilisations (en heures)

Durée totale des utilisations du véhicule v : $T_v = \sum t_u$ (en veh-h).

Durée moyenne des utilisations du véhicule v : $t_{moyv} = \frac{T_v}{U_v}$ (en véh-h).

Durées minimum et maximum des utilisations de v : $t_{\min v} = \text{Min}(t_u)$; $t_{\max v} = \text{Max}(t_u)$ (en véh-h).

Distinction entre le temps roulé et le temps stationné lors des utilisations de v :

Temps roulé $Tur_v = \sum tur$ (en véh-h).

Temps stationné : $Tu_{stv} = \sum tu_{st}$ (en véh-h).

Distance des utilisations (en km)

Distance totale des utilisations du véhicule v : $D_v = \sum d_u$ (en véh-km).

Distance moyenne des utilisations du véhicule v : $d_{moyv} = \frac{D_v}{U_v}$ (en véh-km).

Distances minimum et maximum des utilisations: $d_{\min v} = \text{Min}(d_u)$; $d_{\max v} = \text{Max}(d_u)$ (en véh-km).

Vitesse moyenne de parcours de v lors de ces utilisations: $V_v = \frac{D_v}{T_v}$ (en km/h).

Fréquence d'utilisation

Soit $f_{uv} = \frac{U_v}{nj} \cdot k$; $k \in \{1; 7; 30; 31; 365\}$ la fréquence d'utilisation du véhicule v. La valeur de k dépend du type de fréquence que l'on souhaite obtenir, pour une fréquence hebdomadaire, $k=7$, annuelle $k=365$ etc... La valeur de nj peut aussi être variable et détermine différents niveaux de résolution.

3.3.2 Capacité opérationnelle, taux d'utilisation et suivi d'un véhicule

Capacité opérationnelle des véhicules

Soit $C_v = 24 \cdot nj$ (en veh-h) la capacité du véhicule v.

C'est, sur la période considérée, le nombre d'heures où il a été disponible pour les usagers. N'ayant pas accès aux périodes d'entretien des véhicules, nous considérerons, pour des périodes d'observation inférieures à 32 jours que tout véhicule utilisé est disponible sur l'ensemble de la période.

Chaque véhicule a une capacité mensuelle $C_v = 24 \cdot 30 = 720$ veh-h sur les mois de 30 jours.

Taux d'utilisation

Soit $\Gamma_v = \frac{T_v}{C_v}$ (en%) le taux d'utilisation du véhicule v.

Il exprime le pourcentage de la capacité qui a été effectivement utilisé. Au vu de la configuration générale des utilisations, nous avons choisi d'exprimer ce taux sur deux subdivisions différentes : sur 24 h et sur la période la plus utilisée : entre 7h et 21h.

Suivi longitudinal d'un véhicule

Les différentes plages d'utilisation du véhicule peuvent être représentées dans le temps et ainsi expliciter les notions de capacité opérationnelle et de taux d'utilisation. Cette représentation permet également de détecter les plages horaires de forte et de faible utilisation ainsi que diverses régularités ou cycles.

3.3.3 Application aux études longitudinales

Comme pour les abonnés, les études sur de longues périodes sont soumises aux évolutions du système. Il faut donc adapter les unités avec des résolutions plus fines : là encore nous prendrons la semaine comme agrégation, l'unité retenue sera donc le véhicule-semaine (veh-sem).

La différence avec l'approche des abonnés se situe au niveau de la disponibilité : pour limiter les effets des périodes d'entretien non prises en compte, les véhicules ne seront considérés comme actifs (disponibles) que durant les semaines où ils ont été utilisés au moins une fois. Ils seront cependant considérés disponibles durant toute la semaine.

A titre d'exemple, un véhicule ayant été utilisé au moins une fois lors de 37 semaines de l'année sera comptabilisé comme 37 veh-sem, il aura une capacité de $C_v = 24 \times 7 \times 37 = 6\,216$ veh-h sur l'ensemble de l'année.

3.4 Indicateurs relatifs aux stations

Les stations sont le point de rencontre entre les abonnés et les véhicules du système. Les indicateurs qui caractérisent ces stations sont donc d'une part, des statistiques sur les véhicules qui sont attirés et d'autre part, des indicateurs sur les usagers les ayant utilisés.

3.4.1 Volumes de service : agrégation de plusieurs véhicules

Sur la période n_j observée pour les utilisations faites à partir de la station s ($u \in \mathbb{U}_s$):

Soit U_s le nombre d'utilisations observées à la station s .

Soit A_s le nombre d'abonnés différents ayant utilisés la station s .

Soit V_s la capacité observée de la station s , c'est le nombre de véhicules différents observés à la station s durant la période considérée (définie en 3.1.1).

Le principe de l'étude des volumes de service aux stations est le même que pour les véhicules : on agrège les statistiques des utilisations qui ont été effectuées à la station s : ce sont en fait celles où les véhicules lui étant attitrés ont été utilisés.

Ainsi les durées ou distances de parcours des véhicules seront simplement sommées :

Soit $T_s = \sum T_v | v \in s$ le temps total des utilisations faites à partir de la station s .

Soit $D_s = \sum D_v | v \in s$ la distance totale des utilisations faites à partir de la station s .

3.4.2 Indicateurs sur les usagers de la station

Ratio abonnés-véhicule par station

Soit: $Rav_s = \frac{A_s}{V_s}$ le ratio abonnés par véhicule à la station s .

Il permet de comparer la qualité de service des stations suivant leur capacité. Un ratio élevé indique une plus forte pression de la part des abonnés et donc, une qualité de service moindre.

Il ne faut cependant pas le comparer au ratio abonnés/véhicule calculé sur l'ensemble du système qui qualifie globalement la qualité du service.

Fidélité des usagers à la station

Soit $Pa_{n,s}$ le pourcentage des usagers actifs ($\in \mathbb{A}$) qui ont utilisé n stations différentes dont la station s . Afin de mesurer la fidélité des usagers à la station on prendra généralement $n=1$, ainsi $Pa_{1,s}$ représente la part des usagers actifs dont s est la seule station.

$$Pa_{1,s} = \frac{\text{nb d'abonné n'ayant utilisé que } s}{\text{nb d'abonnés n'ayant utilisé qu'une station}} = \frac{\text{card}(\mathbb{A}_{ex} \cap \mathbb{A}_s)}{\text{card}(\mathbb{A}_{ex})}.$$

Où $\mathbb{A}_{ex} = \{a | \text{card}(\mathbb{S}_a) = 1\}$ est l'ensemble des abonnés n'ayant utilisé qu'une seule station (abonnés exclusifs) et \mathbb{A}_s l'ensemble des abonnés qui ont utilisé s .

Pour mieux pouvoir comparer les stations, il est nécessaire de tenir compte de la taille (ou capacité des stations), le précédent indicateur est modifié : $P'a_{1_s} = \frac{Pa_{1_s}}{V_s}$. La valeur numérique de cet indicateur n'a pas de réalité physique, il a pour seul but de pouvoir comparer les stations.

Dispersion spatiale des usagers

La dispersion des usagers est étudiée à partir de la distance d'accès des usagers (da_s) au système défini en 3.1.3.

Soit $da_{s_{moy}} = \frac{\sum da_s}{A_s}$ (m) la distance moyenne d'accès à la station s. On pourra

également donner les valeurs maximales et minimales. La valeur moyenne nous permet de tracer un cercle de dispersion des usagers autour de la station. D'autres outils peuvent également donner une ellipse avec ses caractéristiques géométriques.

Soit $CDGs$ le centre de gravité du domicile des abonnés ayant utilisé la station s, on a

$X_{as} = \frac{\sum X_a}{A_s}$ (m) et $Y_{as} = \frac{\sum Y_a}{A_s}$ (m) les coordonnées MTM du centre de gravité des

domiciles des usagers de la station s. Cet indicateur montre la direction du bassin d'attraction de la station.

Soit $d_{s_{CDGs}}$ la distance orthogonale entre la station s et le centre de gravité du domicile de ses usagers

Soit $Ex_{a_s} = \frac{d_{s_{CDGs}}}{da_{s_{moy}}}$ l'excentricité de la station s : cet indicateur permet d'apprécier la provenance des usagers de la station s : plus Ex_{a_s} est grand, plus les usagers de s proviennent d'une direction privilégiée. Si $Ex_{a_s} = 0$ les usagers sont parfaitement répartis autour de la station.

Potentiel d'attraction des usagers

Cette mesure se compose de deux indicateurs :

Soit A_{sr} le nombre d'abonnés dont le domicile est situé dans un cercle de rayon r autour de la station. Cet indicateur est à relier aux deux autres indicateurs déjà définis concernant les abonnés : V_{ar} et S_{ar} . Ici encore nous prendrons une valeur par défaut de 1000 m pour r .

Soit $\mathbb{A}_{sp} = \{a | S_{pa} = s\}$, l'ensemble des abonnés dont s est la station la plus proche du domicile. $A_{sp} = \text{card}(\mathbb{A}_{sp})$ est donc le nombre d'abonnés dont la station s est la plus proche du domicile.

3.4.3 Indicateurs sur les véhicules de la station

Les indicateurs sur les véhicules des différentes stations sont très liés à ceux des véhicules, on retrouvera dans cette section des indicateurs sur les capacités des véhicules agrégés en station, sur des taux d'occupation.

Capacité opérationnelle des stations

Soit $C_s = \sum_v C_v | v \in s$ (veh-h) la capacité opérationnelle de la station s . Elle indique le nombre d'heures de location utilisables par les abonnés à cette station. Elle dépend surtout de la capacité V_s de la station.

Taux d'utilisation

Soit $\Gamma_s = \frac{T_s}{C_s}$ (en%) le taux d'utilisation des véhicules de la station s .

Il exprime le pourcentage de la capacité opérationnelle qui a été effectivement utilisé. Nous utiliserons à nouveau ce taux sur deux subdivisions différentes : sur 24 h et sur la période la plus utilisée : entre 7h et 21h.

Suivi longitudinal des véhicules de la station

Le même type de représentation chronologique que pour les véhicules sera utilisé afin d'une part d'explicitier les notions précédentes et d'autre part de détecter les heures de pointes ainsi que certains cycles d'utilisation. Le fait d'agréger les véhicules en station permet de voir plus globalement le comportement du système.

CHAPITRE 4 : ÉTUDE TRANSVERSALE DU SERVICE D'AUTOPARTAGE

4.1 Introduction

Au cours des dernières années le service d'autopartage proposé à Montréal a connu une forte croissance. La comparaison en terme de comportement et de volumes opérationnels de trois mois de septembre consécutifs a donc pour objectifs de quantifier cette croissance ainsi que de déterminer si elle entraîne des évolutions tant sur le plan comportemental que sur le plan opérationnel. Les analyses et représentations présentées dans ce chapitre sont toutes basées sur des données issues de périodes mensuelles d'observation ($n_j=30$). Le choix a été fait de retenir les mois de septembre entre 2003 et 2006 pour deux raisons : d'une part c'est un mois représentatif en terme de comportement de mobilité qui n'est pas soumis à de fortes perturbations comportementales tant pour des raisons climatiques que calendaires (vacances); d'autre part, une enquête de grande envergure sur les déplacements des personnes dans la grande région de Montréal, est menée tous les cinq ans pendant la période automnale. Les indicateurs portant sur cette même période, il pourrait être possible de les comparer.

4.2 Indicateurs globaux

Les informations de cette section concernent l'ensemble des transactions (ou réservations) enregistrées sur les mois de septembre. L'intérêt principal motivant l'examen de toutes les transactions enregistrées est d'avoir une vision globale de la demande de ce service. En effet, même si les réservations n'aboutissent pas à une utilisation réelle du service, elles ont néanmoins été faites.

L'examen d'indicateurs opérationnels globaux (voir Tableau 4-1) montre une réelle croissance des volumes. En effet entre septembre 2003 et septembre 2005, le nombre de transactions a plus que doublé (+112%), le nombre d'abonnés actifs ainsi que le nombre de véhicules ont également très fortement crû (respectivement de 75 et 80%). Ces croissances ont fait augmenter les taux de réservations (ou transactions) par abonné et par véhicule d'environ 20%.

Le ratio abonnés par véhicule (Rav) est quant à lui resté proche de 10 ce qui dénote une volonté des administrateurs de conserver un accès constant au parc automobile pour leurs usagers.

De la même manière, on ne remarque pas à priori de grands changements dans le comportement des usagers suivant les tarifs choisis, tant en termes de distance que de durée.

Dans le Tableau 4-1, les nombres sans parenthèse correspondent aux réservations observées et les nombres entre parenthèses aux utilisations observées. On rappelle que les utilisations sont les réservations dont la distance de parcours est non nulle.

Tableau 4-1 : Indicateurs opérationnels globaux sur 3 mois de septembre consécutifs

	sept-03	sept-04	sept-05
Nombre de réservations:	6 726	10 175	14 262
Nombre d'utilisations :	5 683	8 285	11 341
Part des réservations utilisées :	84.5%	81.4%	79.5%
Nombre d'abonnés actifs:	1690 (1624)	2363 (2287)	2951 (2835)
Nombre de véhicules actifs:	174 (174)	224 (223)	313 (311)
Nombre de stations :	68	77	100
Ratio abonnés par véhicule (Rav):	9.7	10.5	9.4
Capacité moyenne des stations ($V_{s,moy}$)	2.6	2.9	3.1
Nombre moyen de réservations par véhicules:	38.66	45.22	45.57
Nombre moyen de réservations par abonné:	3.98	4.31	4.83
Kilométrage moyen des utilisations au tarif local (km):	41.35	42.78	40.33
Durée moyenne des utilisations au tarif local (h) :	6.56	6.44	6.70
Kilométrage moyen des utilisations au tarif inter-réseau (km):	424.57	425.12	423.48
Durée moyenne des utilisations au tarif inter-réseau (h) :	44.72	44.85	44.95

Les figures suivantes représentent les variations constatées plus haut des indicateurs globaux. Elles sont indicées sur leur valeur en septembre 2003, pour les volumes sur la Figure 4-1 et pour les ratios sur la Figure 4-2.

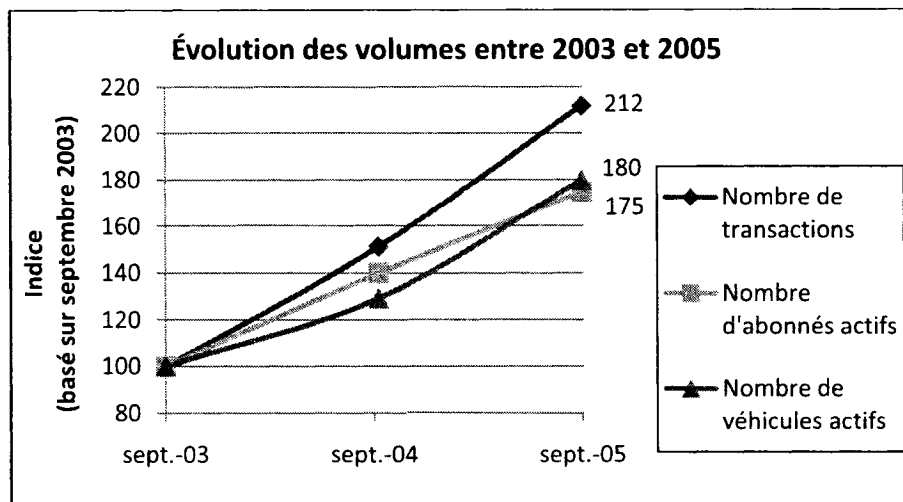


Figure 4-1 : Évolution de volumes opérationnels globaux

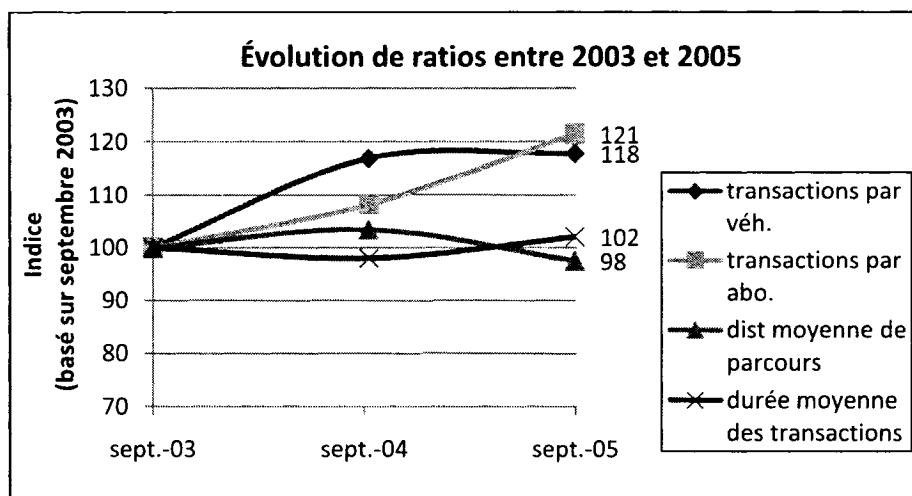


Figure 4-2 : Évolution de ratios globaux entre septembres 2003 et 2005

4.3 Les utilisations : propriétés et évolution

4.3.1 Transactions enregistrées : répartition

Répartition des transactions en septembre 2003

Il y a au total 6726 réservations effectuées en septembre 2003. La très grande majorité d'entre elles (88%) sont actives. On remarque une part non négligeable (3%) de réservations non utilisées.

Type de réservation		Nb	%
Actives	Local	5 112	76.0%
	Inter réseau	528	7.9%
	0 km	214	3.2%
	Autre	43	0.6%
Annulées		829	12.3%

La plupart des réservations effectuées le sont au tarif local (rapport de 10 contre 1 par rapport aux réservations effectuées au tarif inter réseau).

Tableau 4-2 : Répartition par nombre de réservations en septembre 2003

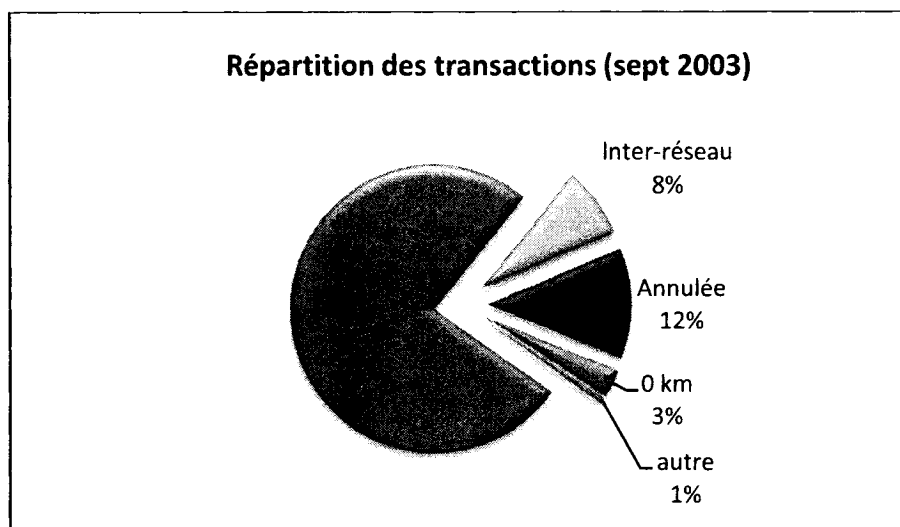


Figure 4-3 : Répartition des transactions de septembre 2003 par type

Évolution de la répartition des transactions

La Figure 4-4 montre l'évolution de la répartition des transactions enregistrées au cours de trois mois de septembre successifs selon leur statut. On constate une augmentation de la part des transactions annulées (de 12% à 17%) ainsi que de celle des transactions non utilisées. Les abonnés semblent donc réserver plus facilement une auto même s'ils ne

sont pas sûrs de l'utiliser. Il serait intéressant, si on avait accès à la date de réservation, d'examiner une possible corrélation entre la précocité de réservation et le taux d'annulation. L'augmentation du taux d'annulation peut s'expliquer par une plus forte pression de la demande : le nombre de transactions par véhicule a augmenté de 18% en trois ans (voir Figure 4-2). De plus les abonnés, s'ils le font assez tôt, peuvent annuler leurs réservations sans frais. Les transactions actives mais non utilisées sont elles, facturées comme les autres avec une distance de parcours nulle, cela explique la faible part de cette catégorie de transactions (entre 3% et 4%). Concernant les utilisations, on note une proportion tarif local – tarif inter-réseau constante. La place des utilisations au tarif local, même si elle diminue du fait des annulations croissantes, reste de loin prédominante avec 75% des transactions enregistrées.

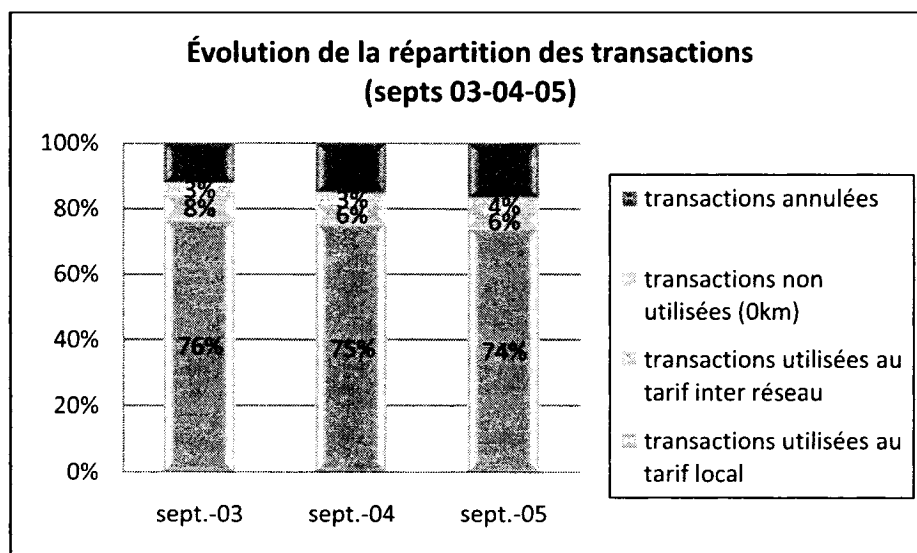


Figure 4-4 : Évolution de la répartition des transactions selon leur statut

La répartition des transactions semble donc pour partie liée à l'importance du service : avec l'augmentation de l'offre et plus encore de la demande, les abonnés ont légèrement changé leur stratégie de réservation.

4.3.2 Volumes d'utilisation

Dans la suite du chapitre, les transactions utilisées pour mener les études seront les utilisations (U). Cet ensemble est constitué des transactions dont la distance de parcours n'est pas nulle. En septembre 2003 on a donc 5683 utilisations qui représentent 84% des transactions enregistrées.

Comme indiqué plus haut, les volumes d'utilisation ont subi une augmentation sur les trois ans. La Figure 4-5 reflète cette augmentation en représentant les volumes enregistrés par jour de départ.

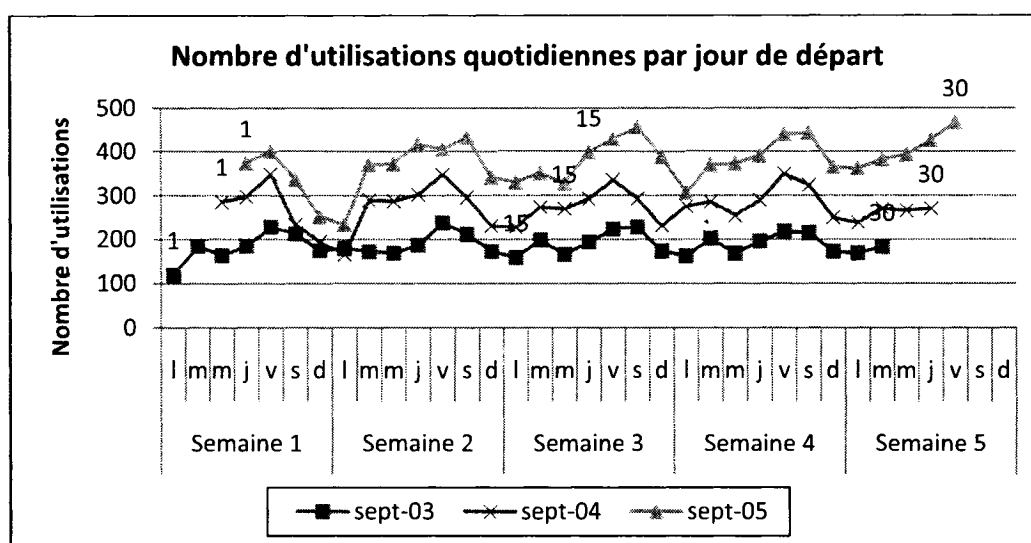


Figure 4-5 : Nombre de départs quotidiens sur 3 mois de septembre consécutifs

Sur un plan plus opérationnel, le nombre de véhicule-kilomètres effectués quotidiennement par l'ensemble de la flotte (voir Figure 4-6) comporte de très fortes similitudes sur les 3 mois étudiés. La seule différence d'allure majeure se situe pour les départs effectués les vendredis et samedis de la première semaine de septembre. Ce sont à ces dates que l'on observe en 2004 et 2005 le plus grand nombre de véh-km parcourus par l'ensemble de la flotte, ce n'est pas le cas pour 2003. Ce phénomène s'explique par la présence d'un jour férié (la fête du travail) le premier lundi de chaque mois de septembre. En 2003 ce jour férié était le 1^{er} septembre. On ne remarque donc pas cette hausse en 2003 car avec la restriction des données étudiées ici, il nous manque les

départs effectués durant la dernière fin de semaine d'août. Ce phénomène est également caractéristique concernant l'utilisation du parc automobile (voir Figure 4-8).

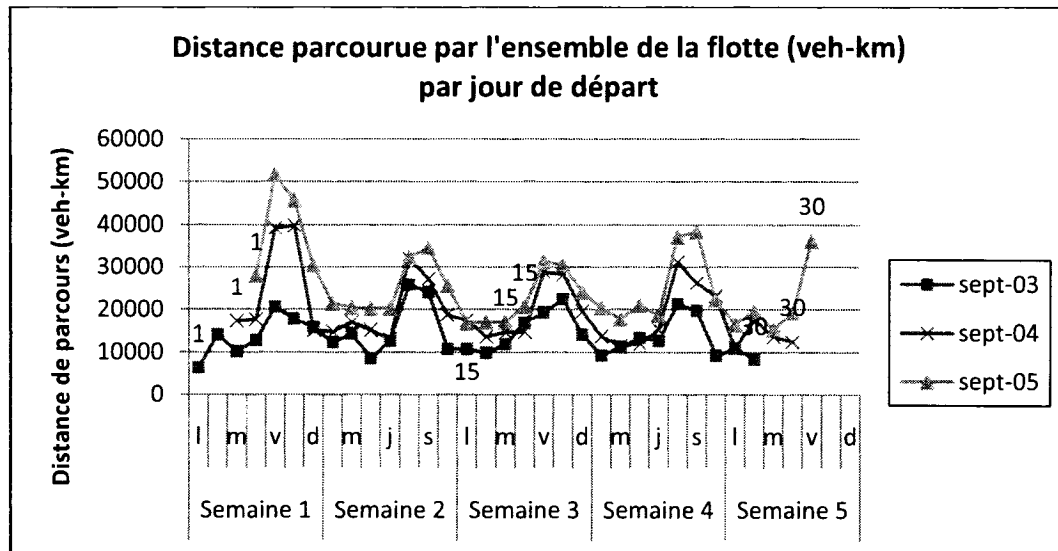


Figure 4-6 : Distance parcourue par l'ensemble de la flotte (veh-km) par jour de départ

On peut également s'intéresser aux temps d'utilisation. Ceux-ci ont une allure quasiment identique à celle des distances parcourues. On remarque ainsi une augmentation des durées d'utilisation lors des fins de semaine. Les variables distance totale de parcours et temps d'utilisation (D_j et T_j) ont un comportement très similaire : ils ont en effet un coefficient de corrélation de 0,97 sur les 90 jours composant les mois de septembre 2003, 2004 et 2005.

La Figure 4-7 représente cette relation entre la distance parcourue par l'ensemble de la flotte et la durée des utilisations. Les utilisations sont regroupées par jour de départ, on a ainsi 90 points (chacun représentant un jour de septembre 2003, 2004 ou 2005). La relation a été approximée par une régression linéaire. On a fixé pour contrainte une distance nulle et cas de durée nulle.

On observe un coefficient de détermination R^2 de 0,93. L'étude des résidus confirme que la variable non expliquée du modèle est uniformément distribuée. On peut donc considérer que les deux variables ont un comportement similaire. Le coefficient directeur de la droite de régression (7,35) est assez proche de la vitesse virtuelle

moyenne de parcours : $V_v = 7,36 \text{ km/h}$. On rappelle que cette vitesse virtuelle ne correspond pas à la véritable vitesse de parcours car les véhicules sont stationnés durant une partie de chaque utilisation (voir §4.5.3).

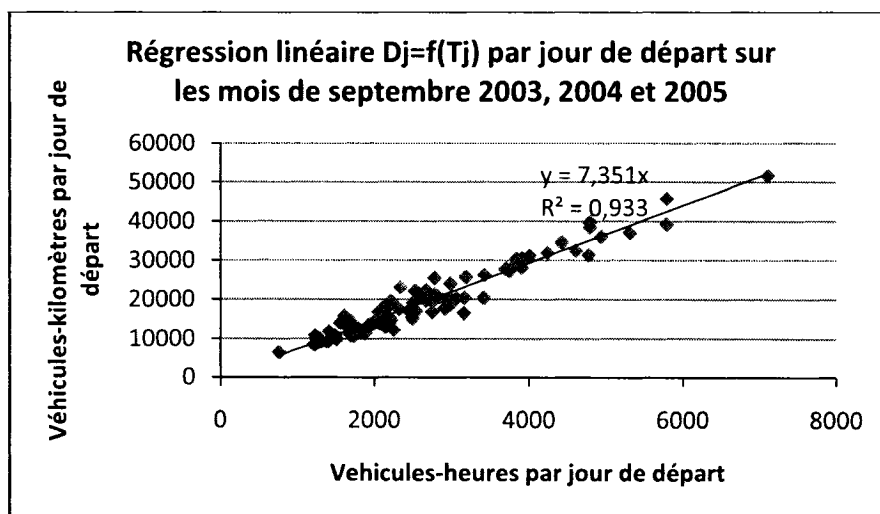


Figure 4-7 : Régression linéaire $D_j = f(T_j)$ par jour de départ sur les mois de septembre 2003 à 2005

La Figure 4-8 représente l'utilisation longitudinale du parc complet durant les trois mois de septembre précédents. La capacité qui y figure est la somme des capacités des stations sur le mois de septembre ($\sum_s V_s$), elle représente donc la somme de tous les véhicules ayant été utilisés au moins une fois durant la période d'observation. On remarque, comme pour les kilomètres parcourus, une similitude de l'allure globale des utilisations au fil des ans. Là encore le fait marquant est une hausse très importante des utilisations durant les fins de semaine où la pleine capacité est presque atteinte. L'influence de la fête du travail est remarquable puisque lors du premier lundi du mois, le taux d'utilisation est plus proche de celui observé en fin de semaine que lors d'un jour moyen de semaine. Il est une fois de plus à noter que ce pic n'est pas observé en 2003. Cette année là, ce jour férié était le 1^{er} septembre et les données étudiées ne couvrant pas la fin du mois d'août, les utilisations ayant débutées à cette période ne sont pas prises en compte.

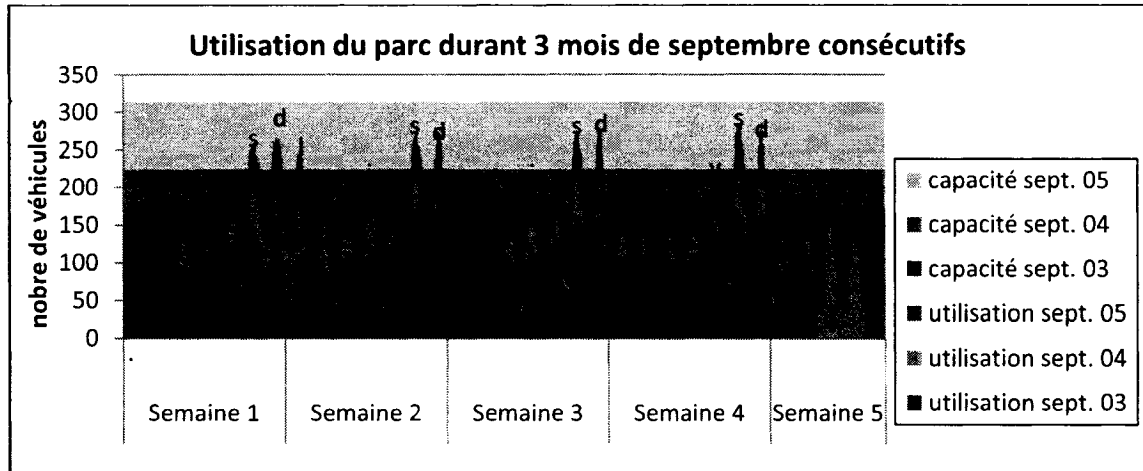


Figure 4-8 : Utilisation du parc automobile durant 3 mois de septembre consécutifs

La Figure 4-8 permet de mettre en évidence deux indicateurs pertinents concernant l'utilisation du parc automobile : la capacité opérationnelle du système ($C_{v_tot} = \sum_v C_v$) et le taux d'utilisation ($\Gamma_v = \frac{T_{v_tot}}{C_{c_tot}}$) qui représente la part capacité opérationnelle utilisée.

Le

Tableau 4-3 indique les valeurs que prennent ces indicateurs. Le mois de septembre 2006 y figure aussi pour plus de détails. Comme envisageable, le taux d'utilisation est plus élevé en journée que sur 24 heures. On remarque néanmoins que près de 50% de la capacité du parc est utilisée toutes périodes confondues.

Le choix d'une capacité (V_s) calculée sur une base mensuelle induit une perte de précision dans le calcul du taux d'utilisation dû au fait que le système évolue constamment. Pour plus de précision, il faut réduire l'intervalle de temps, la capacité varierait donc cinq fois au cours de chaque mois. Comme exposé en 3.4.3, le taux d'utilisation peut être calculé sur 24 heures ou seulement sur une plage temps, par exemple entre 7h et 21h la période retenue ici. Ce choix résulte du fait que les plus fortes variations d'occupation du parc dans une journée sont observées à ces horaires (Figure 4-9).

Tableau 4-3 : Capacités opérationnelles et taux d'utilisation du système (4 septembre)

24h	Capacité opérationnelle (veh-h)	125280	161280	225360	266400
	Veh-h utilisées (veh-h)	58520	78515	105150,5	139321
	Taux d'utilisation	48,7%	48,7%	46,7%	52,3%
7h - 21h	Capacité opérationnelle (veh-h)	65598	91350	131616,5	160950
	Veh-h utilisées (veh-h)	41090	57049	78254,5	106241
	Taux d'utilisation	62,6%	62,5%	59,5%	66,0%

Pour justifier l'intervalle de temps durant lequel on calcule le taux d'utilisation du parc, on introduit ici la variation moyenne de la part du parc utilisée :

$$\Delta_h = \frac{(nb_veh_util)_h - (nb_veh_util)_{h-30min}}{Capacité\ du\ parc}$$

Cette variation exprime, pour une période de 30 minutes la différence entre le nombre de départs et de retours, exprimée en pourcentage du parc : si $\Delta_h > 0$, il y a eu plus de départs que de retours, si $\Delta_h < 0$ il y a eu plus de retours que de départs.

La Figure 4-9 représente la variation moyenne, sur une journée de septembre, de la part du parc automobile utilisée. On remarque que, dans la période 7h-7h30, le parc subit une augmentation de son utilisation (un nombre de départs important) de près de 8%. A l'inverse, c'est dans la tranche horaire 21h-21h30 que l'on enregistre le plus de retours : environ 6% des véhicules disponibles sont retournés durant cette période.

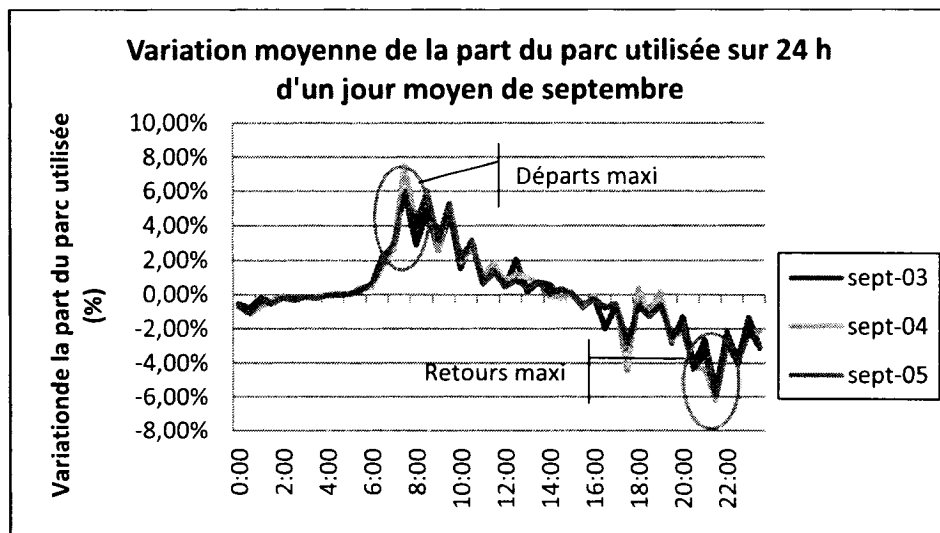


Figure 4-9 : Variation moyenne de la part du parc automobile utilisée sur 24 heures

4.3.3 Durée des utilisations

Les précédentes notions exposées faisant indirectement référence aux durées d'utilisation, cette section s'attache à faire le portrait des utilisations par le biais de leur durée. De plus durées et distances sont intimement liées, cette étude de la durée des utilisations est donc assimilable à l'étude de la structure des utilisations. Il a été constaté que le parc automobile était plus utilisé en fin de semaine qu'en semaine. La plupart des analyses de cette section feront donc cette distinction. Afin de mieux répartir les utilisations entre semaine et fin de semaine, on utilisera la notion de date (ou jour) médiane (j_{medu}) qui est la date exacte entre la prise et le retour du véhicule.

Les mois de septembre étudiés ne montrant pas de grandes différences dans ce domaine, les représentations suivantes auront généralement comme source le mois de septembre 2004.

En septembre 2004, 85.3% des utilisations ont eu une durée inférieure ou égale à 10 heures. La durée moyenne des réservations effectuées sur cette période est de $t_{moy} = 9.47$ heures, le Tableau 4-4 indique les durées moyennes selon le type de jour médian et le tarif. On remarque une augmentation de la durée en fin de semaine et une adaptation des tarifs demandés par les usagers à la durée de leurs utilisations.

Tableau 4-4 : Durées moyennes des utilisations par jours et tarifs (sept 2004)

Durée moyenne des utilisations (en heures)	Tarif		Type de jour médian	
	Inter-réseau	Local	Semaine	Fin de semaine
	45.2	6.5	7.7	14.1

La Figure 4-10 représente les courbes cumulées des utilisations groupées par types de jour médian (semaine ou fin de semaine) selon leurs durées. L'allure des courbes indique clairement que les utilisations sont principalement de courte durée. On constate deux marches importantes pour des durées de 10 et 24 heures. Ceci est principalement dû à la structure tarifaire de Communauto qui offre des tarifs attrayants pour ces durées.

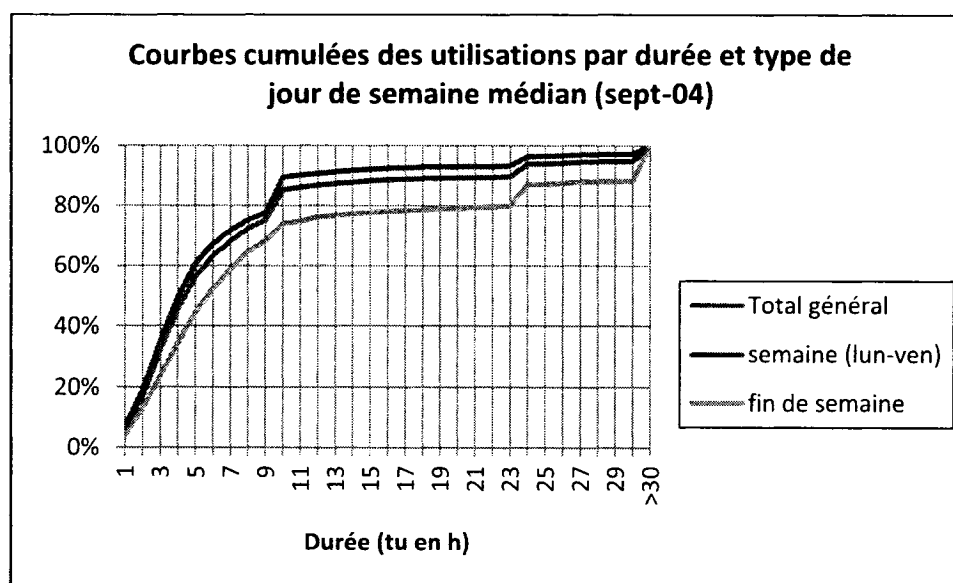


Figure 4-10 : Courbes cumulées des utilisations par durée et type de jours médians de semaine

Le choix fait de constituer les trois groupes de durée d'utilisation suivants résulte directement des observations de la Figure 4-10. En distinguant les utilisations par leur jour médian, on remarque (Figure 4-11) que ce sont les utilisations de courte durée (d'une durée t_u inférieure à 10 heures) qui sont les plus nombreuses. Par ailleurs, l'aspect le plus important est l'augmentation significative de la part des longues utilisations (d'une durée supérieure à 24 heures) durant les fins de semaine.

La structure tarifaire de Communauto offrant deux tarifs distincts, ils sont destinés à des utilisations de différentes natures. La Figure 4-12 représente la répartition des

utilisations par tarif sur le même modèle que la figure précédente. On remarque clairement une correspondance entre la part des utilisations au tarif inter-réseau et celle des utilisations de longue durée ($t_u > 24$ h). Malgré cette correspondance, on note que seules 64% des utilisations de longue durée ($t_u > 24$ h) sont au tarif inter-réseau. Il y a donc 36% des utilisations de longue durée qui sont tarifées en local. Ce choix fait par l'abonné s'explique par la structure tarifaire proposée qui permet, avec le tarif local, d'obtenir un moindre coût pour des utilisations de longue durée avec relativement peu de kilomètres parcourus.

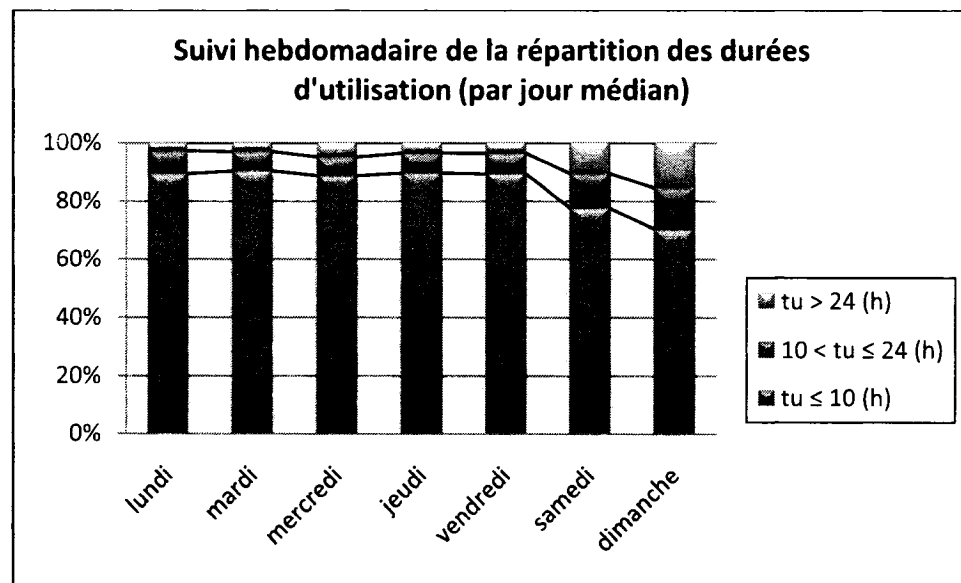


Figure 4-11 : Suivi hebdomadaire de la répartition des durées d'utilisation par jour médian (sept-04)

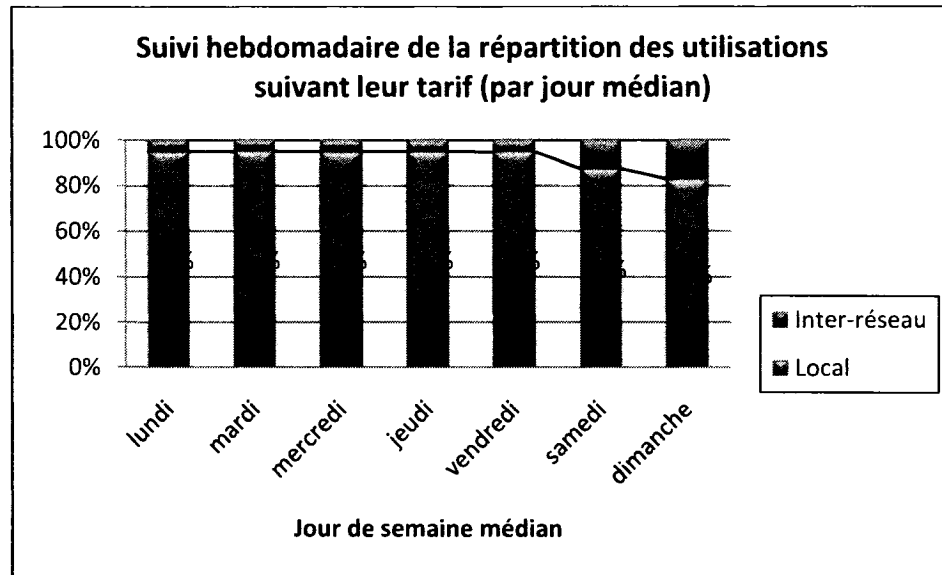


Figure 4-12: Suivi hebdomadaire des répartitions d'utilisations par tarif (sept-04)

Les réservations de courtes durées ($t_u < 10$) étant les plus fréquemment rencontrées (plus de 85% du total), elles représentent la plus grande demande de service. En septembre 2004, on recense 7071 utilisations de courte durée, 77% (5427 utilisations) d'entre elles sont effectuées en semaine (jour médian) et 23% (1644 utilisations) en fin de semaine. La répartition de ces utilisations de courtes durées en les distinguant par leur type de jour médian (Figure 4-13) montre que celles effectuées en semaine sont principalement réparties en deux groupes : celles d'une durée de 10 heures et celles d'une durée comprise entre 3 et 5 heures. En fin de semaine la même tendance est observée; elle est cependant très atténuée : on observe un lissage de la courbe qui indique une répartition plus uniforme de la durée des utilisations. Cette relative uniformité indique des activités de durées très diverses effectuées par les abonnés avec l'autopartage.

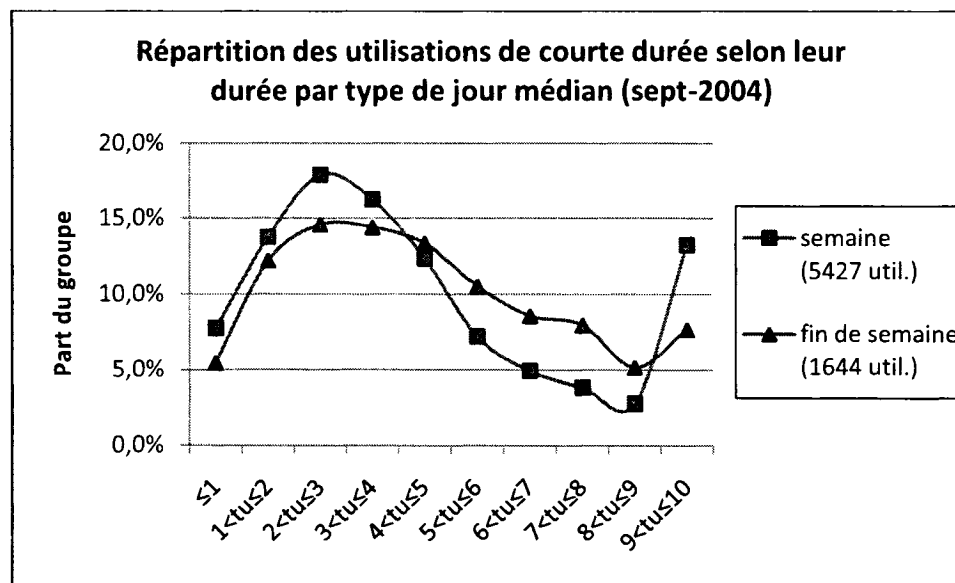


Figure 4-13 : Répartitions des utilisations de courte durée selon leur durée par type de jour médian

4.4 Les stations : propriétés et évolution

Les stations sont le lieu de rencontre entre les usagers et les véhicules, c'est un des objets principaux du système. Chacune de ces stations se voit attirer des véhicules qui devront être empruntés et ramenés à cette même station. Le système d'autopartage comportait, pour la région de Montréal 68 stations utilisées en septembre 2003, en 2005 on en dénombrait 100.

La section suivante cherche à caractériser les stations dans le système à commencer par les volumes de service.

4.4.1 Caractéristiques principales des stations

4.4.1.1 La capacité observée des stations V_s

Sur le mois de septembre

Il y a en septembre 2003 68 stations différentes utilisées : elles comptent entre 1 et 7 véhicules différents avec une moyenne de 2.6 véhicules par station. La Figure 4-14 représente la répartition de ces capacités en septembre 2003. Les capacités présentées ici sont des capacités observées (V_s). Ce chiffre représente le nombre de véhicules

différents affectés à la station s durant la période d'observation. La station à laquelle sont affectés le plus de véhicules (7) est la station *Rachel et Papineau* (n°14). Elle est située dans l'arrondissement *Plateau Mont-Royal* situé non loin du centre ville et qui fait figure de centre de gravité du système tant en terme d'offre que de demande.

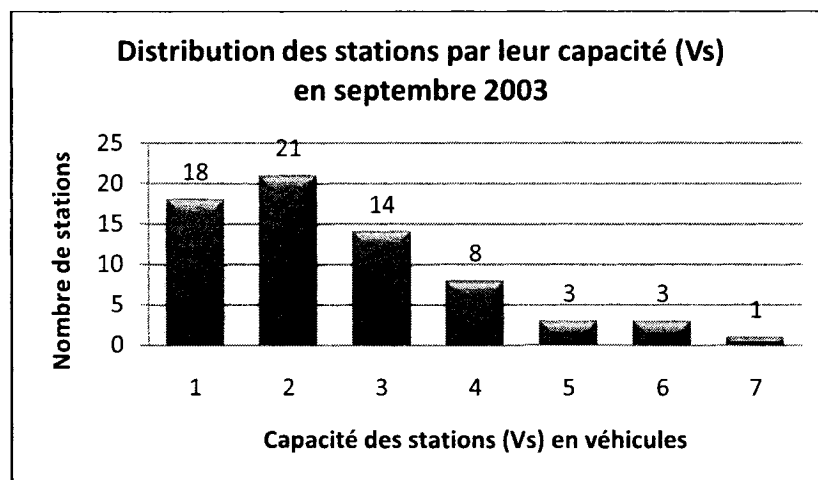


Figure 4-14 : Distribution des stations selon leur capacité Vs (sept 2003)

Évolution sur trois mois de septembre consécutifs

En observant la distribution des capacités des stations sur trois mois de septembre consécutifs, on observe une augmentation générale de la capacité des stations. Le nombre de stations a par ailleurs également augmenté. Le nombre maximal de véhicules attribués à une station est passé de 7 à 9. Quelle que soit l'année, la capacité la plus représentée est de deux véhicules. L'augmentation de la capacité moyenne de 2,6 à 3,1 véhicules par station explique le léger glissement des courbes vers la droite.

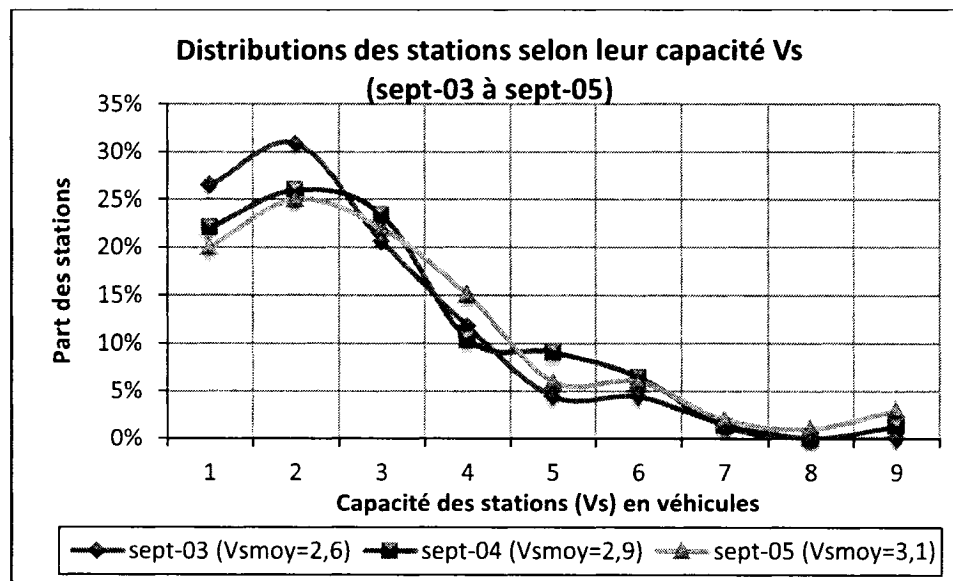


Figure 4-15 : Distributions des stations selon leur capacité Vs, sur 3 mois de septembre consécutifs

La Figure 4-16 montre la position des stations, elle distingue les stations qui étaient déjà utilisées en septembre 2003 de celles apparues au cours des années suivantes. La taille des bulles indique la capacité de chaque station (V_s) en septembre 2005. On remarque que les stations sont relativement groupées. La plus grande partie d'entre elles sont situées dans l'arrondissement *Plateau Mont-Royal* et étaient déjà présentes en 2003. Les stations à plus forte capacité ($V_s > 7$) étaient également déjà présentes en 2003 alors que les stations créées durant les deux années suivantes ont généralement une faible capacité : $V_{s_max} = 4$ (voir Tableau 4-5). Ces « nouvelles » stations ne sont généralement pas situées dans le même secteur que les précédentes, on observe plutôt un étalement de l'offre qu'une densification (en terme de nombre de stations).

Tableau 4-5 : Capacité des stations dans leur première année de fonctionnement

	sept-04	sept-05
Capacité moyenne (V_{s_moy})	2,4	1,6
Capacité maximale (V_{s_max})	4	4
Capacité minimale (V_{s_min})	1	1

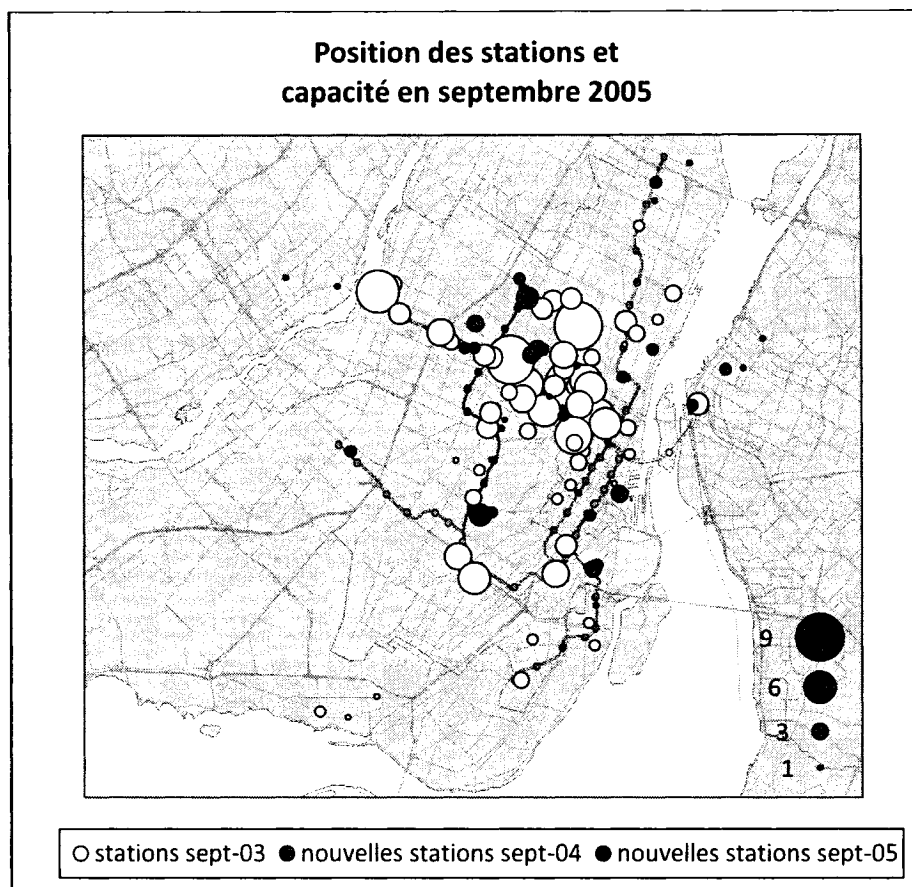


Figure 4-16 : Carte des stations : développement sur trois ans et capacité en septembre 2005

La Figure 4-17 montre, pour les stations qui étaient déjà présentes en septembre 2003 la croissance de la capacité de chaque station (si la capacité a été modifiée). La croissance maximale est de +500% pour la station n°75 (*Marché St Jacques*) qui a vu sa capacité passer de 1 à 6 véhicules. La croissance minimale est négative (-50%) ce qui signifie une baisse du nombre de véhicules disponibles dans celle-ci. Par ailleurs, la croissance moyenne observée a été de +68%. La capacité des stations témoigne de l'offre en autopartage, les stations sont principalement situées dans des quartiers à forte densité de population, et donc, à forte pression pour le stationnement. Les opérateurs d'autopartage sont eux aussi sujets à cette pression et ne sont pas les seuls décideurs de la capacité de leurs stations, ils doivent pour chacune d'entre elles s'adapter à la disponibilité et aux accords convenus avec les pouvoirs publics.

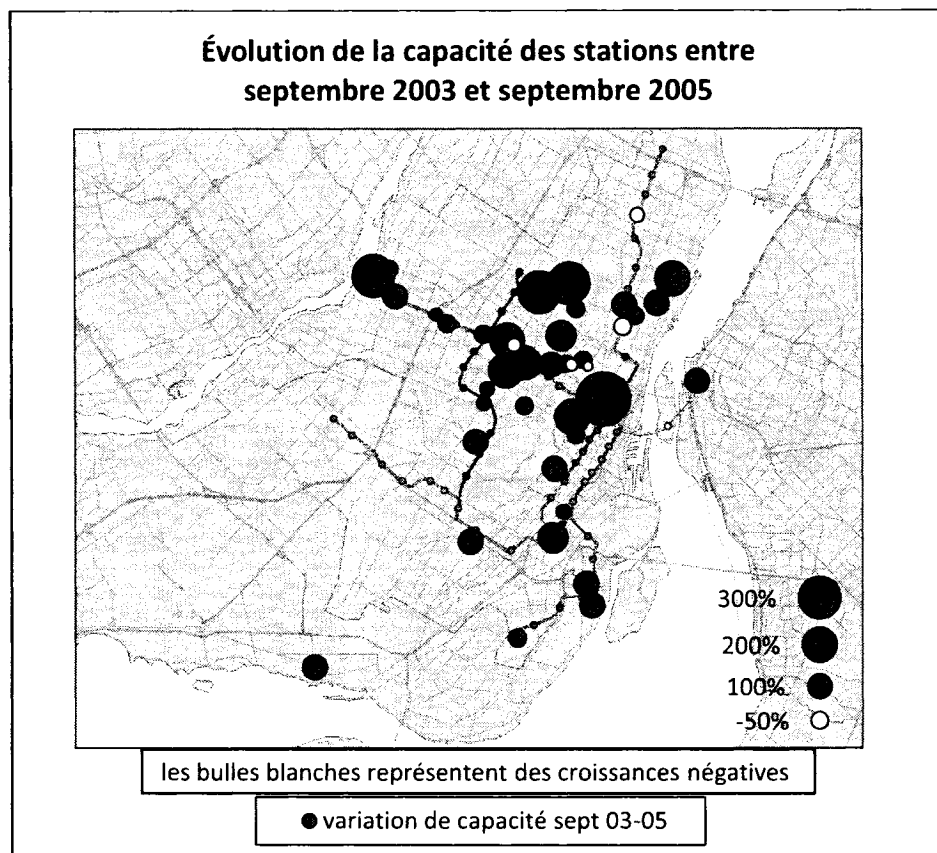


Figure 4-17 : Carte de l'évolution de la capacité des stations de septembre 2003 à 2005

Examinons la croissance entre septembre 2004 et septembre 2005 des stations qui n'étaient pas présentes en 2003 (les stations dans leur deuxième année de fonctionnement). On observe une forte augmentation de leur capacité par rapport à celle de l'ensemble des stations : +82% contre +33% pour l'ensemble. Il semble donc que les stations ayant passé une année de fonctionnement (durant laquelle leur capacité est généralement faible) connaissent dès la deuxième année une augmentation importante de leur capacité.

4.4.2 Stations : leurs usagers

Cette section étudie les abonnés qui utilisent chaque station. Les études menées ici ne portent que sur les utilisations. Ainsi, les usagers n'ayant parcouru aucun kilomètre (même s'ils ont effectué des réservations) ne sont pas pris en compte. Ils entreront néanmoins dans les analyses de la partie concernant le potentiel d'attraction des stations (§4.4.2.4). Il est important de rappeler que pour toutes les analyses d'ordre spatial ou sur les distances entre le domicile des abonnés et la station qu'ils utilisent, il est probable que certains abonnés ne viennent pas directement de leur domicile et que de ce fait les analyses comportent un certain biais. Il est par ailleurs possible que certains usagers aient changé de domicile entre la période d'observation et la période d'extraction des informations relatives à leur domicile. Dans ce cas, les analyses comportent également une part d'erreur.

4.4.2.1 Nombre d'abonnés par station et capacité

Étude sur un mois

Durant le mois de septembre 2003 les stations ont été utilisées par les 1 624 abonnés actifs durant la même période. Les usagers n'utilisent pas toujours la même station. En effet, la disponibilité des véhicules ne permet pas d'obtenir systématiquement le véhicule souhaité. Certains abonnés peuvent également choisir délibérément une station différente. C'est ainsi que le nombre total d'usagers différents recensés dans toutes les stations s'élève à 3038. Parmi les 1 624 abonnés actifs seuls 795 soit $Pa_1 = 49\%$ ont toujours utilisé la même station. La Figure 4-18 représente la répartition des stations en fonction du nombre d'abonnés l'ayant utilisée (As) au cours du mois de Septembre 2003. Les stations ont en moyenne accueilli 44 abonnés différents. Malgré le fait que la station *Rachel et Papineau* soit la station ayant le plus de véhicules, ce n'est pas la station utilisée par le plus d'abonnés différents. C'est en effet la station *St Sacrement* située près de la station de métro « Mont-Royal » qui en a accueilli le plus avec 133 abonnés différentes.

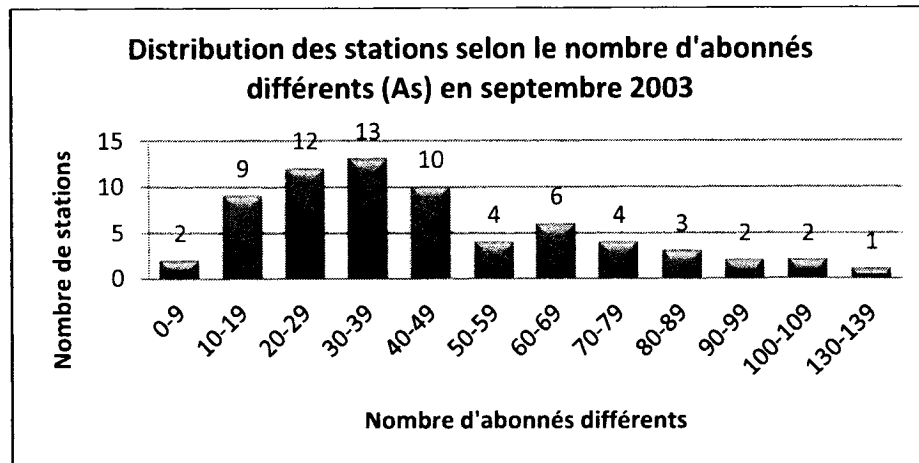


Figure 4-18 : Distribution des stations selon As : nombre d'abonnés différents (sept 2003)

Le nombre d'abonnés différents ayant utilisé une station dépend évidemment de l'offre de celle-ci en termes de véhicules. Afin de comparer plus précisément les stations, on utilise le ratio abonnés/véhicule par station : Rav_s . Ce ratio diffère du ratio abonnés par véhicule (Rav) généralement utilisé par les opérateurs d'autopartage. On rappelle que ce ratio s'établit à 9.7 pour le système au cours du mois de septembre 2003 (voir Tableau 4-1). Ce ratio étant ici ramené à chacune des stations, la moyenne est bien plus élevée : 18 abonnés par véhicule. Cette différence est due au comptage multiple des usagers utilisant plusieurs stations (ces abonnés sont comptés plusieurs fois).

La Figure 4-19 représente la distribution des stations suivant ce ratio, elle semble suivre une répartition normale de moyenne 18 représentée par la courbe sur le graphique.

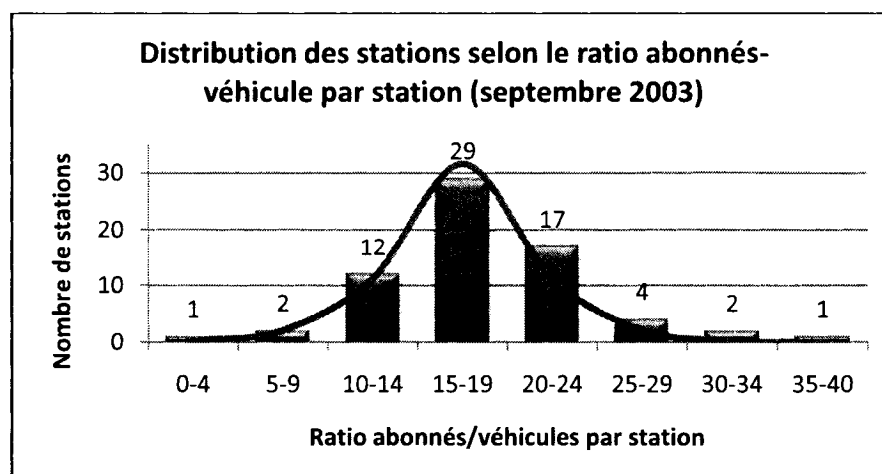


Figure 4-19 : Distribution des stations selon le ratio abonnés-véhicule par station (sept 2003)

La Figure 4-20 représente les stations par ancienneté (couleur) et le ratio abonnés/véhicule par station (Rav_s) qui leur est associé. On remarque que l'ancienneté de la station n'a pas vraiment d'influence sur ce ratio. En effet pour les stations qui étaient déjà en service en septembre 2003, le $Rav_{s,moy}$ était durant le mois de septembre 2005 de 18,7 ab/veh. A la même période, les stations étant dans leur première année de service avaient un $Rav_{s,moy}$ d'une valeur similaire : 18,3 ab/veh.

Cette figure montre que c'est plutôt la densité de stations qui entraîne un nombre plus important d'abonnés par véhicule. Ce phénomène est relativement compréhensible car plus un abonné a de stations dans son entourage proche, plus il peut utiliser de stations différentes. La densité d'abonnés autour des stations ayant un Rav_s élevé peut également être une explication (voir §4.6.1).

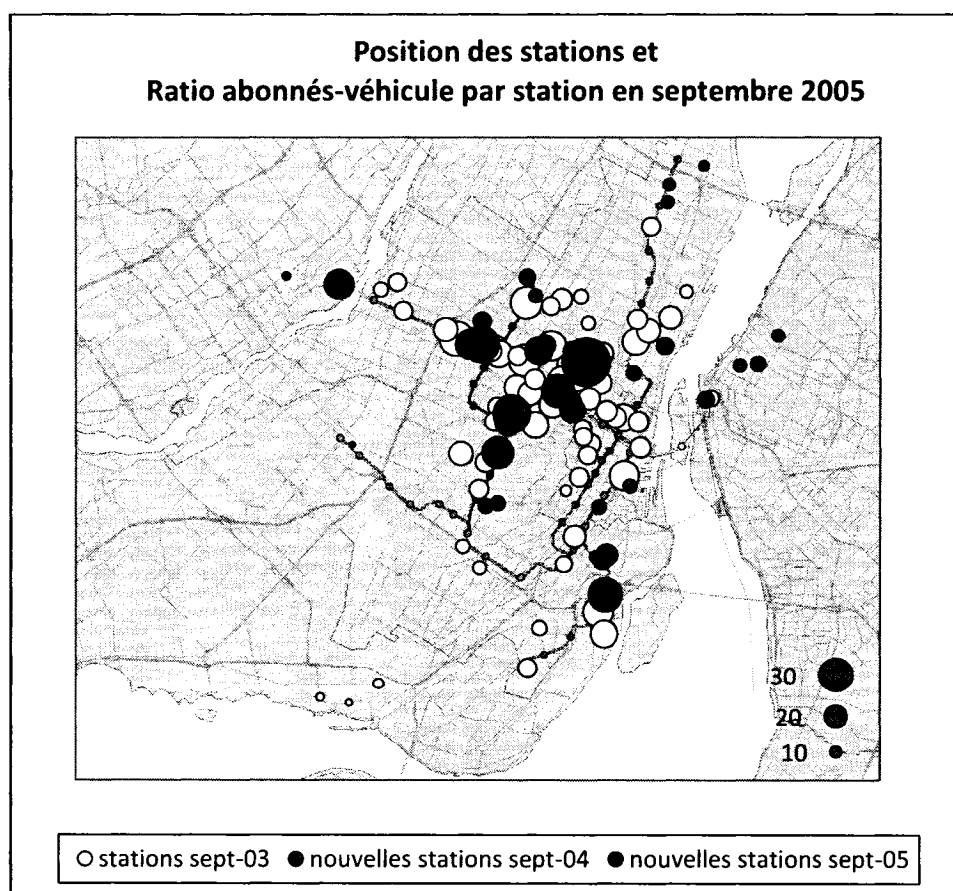


Figure 4-20 : Carte des stations par ancienneté et ratio abonnés-véhicules par station (sept 2005)

Évolution sur trois mois de septembre consécutifs

Le Tableau 4-6 indique sur les trois mois de septembre consécutifs, les statistiques sur les abonnés par station. Les trois premières lignes permettent de restituer les chiffres globaux. On constate que le ratio abonnés/véhicule par station se comporte de manière semblable au ratio abonnés/véhicule global qui est généralement utilisé. Ces deux ratios sont relativement stables avec une hausse en 2004.

Le nombre d'abonnés différents à chaque station (As) et le Rav_s subissent une augmentation en 2004. Cette augmentation est due à une hausse plus importante de la demande (+40% d'abonnés actifs) que de l'offre (+13% de stations). De ce fait il n'est pas étonnant que ces indicateurs subissent une telle hausse. La situation s'inverse entre 2004 et 2005 ce qui permet aux indicateurs de diminuer.

Les abonnés actifs sur un mois sont de moins en moins fidèles : Pa_1 qui représente le pourcentage des abonnés actifs qui n'ont utilisé qu'une seule station s'établissait à 49% en septembre 2003. Au cours des deux années suivantes, cet indicateur est resté élevé mais il n'a cessé de décroître au cours des trois années pour s'établir à 44% en 2005.

Tableau 4-6 : Quantité d'abonnés et stations: évolution sur 3 ans

	sept-03	sept-04	sept-05
Nombre de stations	68	77	100
(évolution)		(+13%)	(+29%)
Nombre d'abonnés actifs (utilisation)	1624	2287	2835
(évolution)		(+40%)	(+23%)
Rav global	9,7	10,5	9,4
Nombre moyen d'abonnés différents par station :	44,7	62,9	56,2
(As_{moy})			
Rav_s moy	18,0	22,2	18,5
Part des abonnés utilisant une seule station	49,0%	48,0%	44,2%
(Pa_1)			

La Figure 4-21 montre les distributions des stations selon le ratio abonnés/véhicule par station sur les trois mois de septembre consécutifs. Les trois distributions ont la même allure. Seule la moyenne varie : elle est similaire pour septembre 2003 et 2005 mais,

comme indiqué plus haut, le ratio a crû en septembre 2004. On peut conclure que globalement les stations ont connu la même affluence lors des trois mois de septembre.

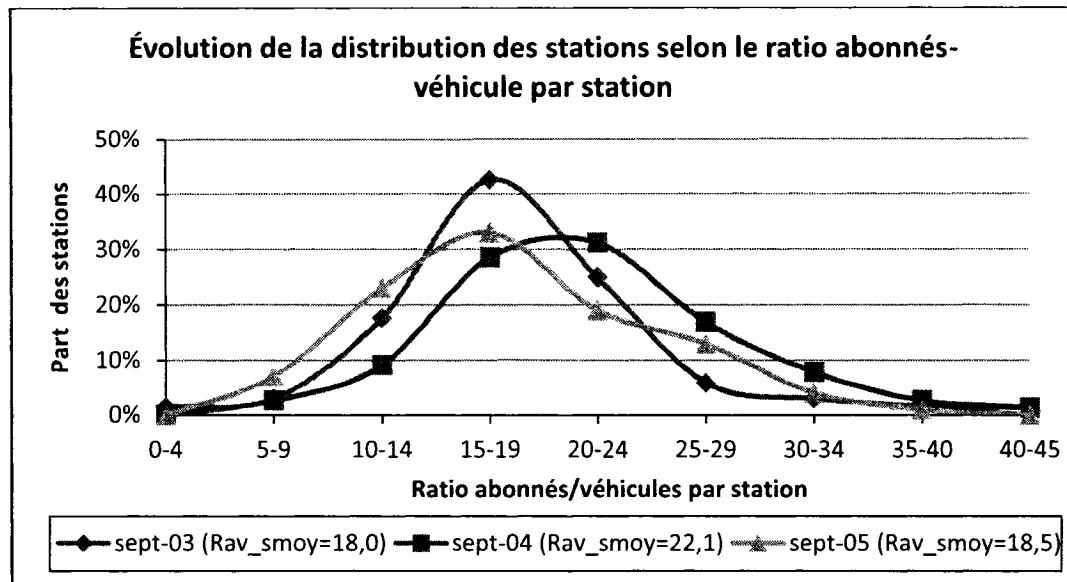


Figure 4-21 : Évolution de la distribution des stations selon le ratio abonnés/véhicules par station

4.4.2.2 Les stations et leurs abonnés exclusifs

Afin de mieux repérer les stations qui concentrent le plus d'abonnés ayant un choix de station exclusifs (n'utilisant qu'une station), on examine l'indicateur Pa_{1_s} . Cet indicateur représente la part des usagers actifs n'ayant utilisé qu'une seule station parmi tous ceux qui ont utilisé la station s . On remarque que les usagers n'utilisant qu'une station se concentrent principalement dans les stations de grande capacité : la Figure 4-22 est en effet similaire à la Figure 4-16 représentant les capacités des stations. Ce phénomène ne s'explique pas par un taux d'utilisation plus faible dans ces stations.

Afin de tenir compte de la capacité des stations on examine un second indicateur : $P'a_{1_s}$ qui est le quotient de Pa_{1_s} et V_s . Cet indicateur mesure en quelque sorte la faculté d'une station à fidéliser ses usagers.

La représentation spatiale de cet indicateur (Figure 4-22 à droite), ne laisse pas apparaître de zone concentrant les stations les plus performantes. On note cependant qu'elles sont le plus souvent placées le long des lignes de métro.

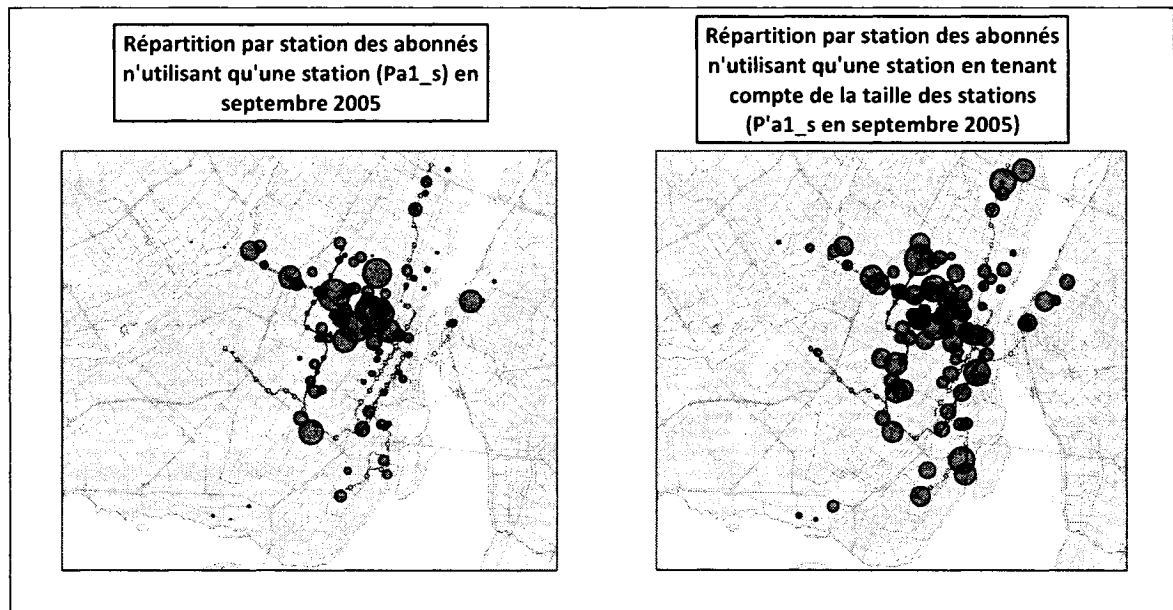


Figure 4-22 : Répartitions par station des abonnés n'utilisant qu'une station (sept 2005)

4.4.2.3 Dispersion spatiale des abonnés utilisant les stations

Un des facteurs prépondérants pour évaluer la qualité et l'efficacité du service d'autopartage est son accessibilité pour les abonnés. Pour étudier cet aspect cette section s'intéresse à la dispersion spatiale des usagers de chacune des stations.

La distance d'accès d_{a_s} est un paramètre pertinent pour caractériser les stations et leurs usagers. Ces distances sont très variables (Figure 4-23): en septembre 2003, pour une moyenne de 2.7 km l'écart type est de 3.2 km. D'autre part 90% des stations ont une distance moyenne d'accès de leurs usagers inférieure à 5 km. On remarque, sur la distribution des stations en septembre 2003 (Figure 4-23) un fort pic entre 1,5 et 2,5 kilomètres qui regroupe 42% de l'ensemble soit 29 stations.

Cette distribution est propre à septembre 2003 et en observant celles de 2004 et 2005 (toujours sur la Figure 4-23), on constate de grosses différences. La seule constante semble la part prépondérante des stations dont la distance domicile-station moyenne est inférieure à 3 km. On note que la distribution de 2004 (durant laquelle l'offre en termes de stations n'a pas suivi la demande, voir Tableau 4-6) est très éloignée des deux autres : les stations de $d_{a_s} < 1,5\text{km}$ y sont bien plus nombreuses.

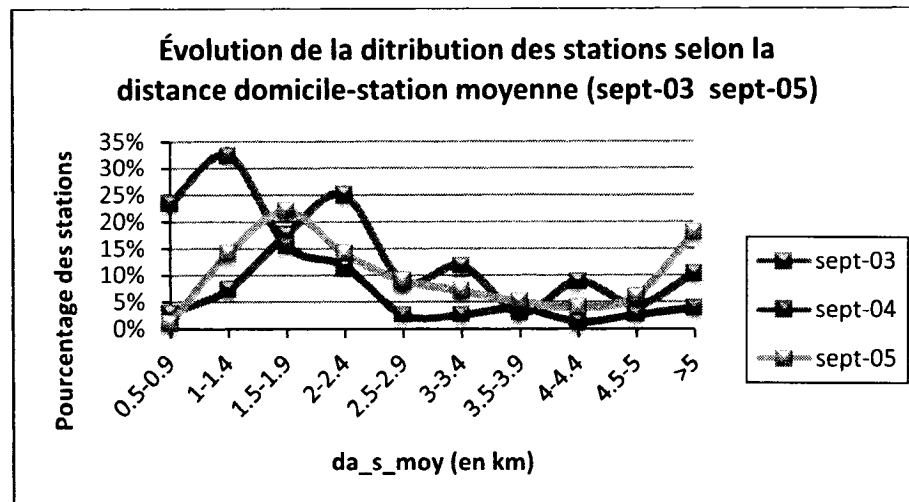


Figure 4-23 : Évolution de la distribution des stations selon la distance domicile-station moyenne

Outre la distance entre la station qu'il utilise et le domicile de l'abonné, la position géographique relative de ces deux entités est remarquable.

Afin de mettre en valeur la diversité des stations qui existe en la matière, on peut trouver sur la Figure 4-24 les positions des stations et des centres de gravité du domicile de leurs usagers ($CDGs$) ainsi que le cercle de rayon $da_{s_{moy}}$ centré sur la station. Cette figure ne fait apparaître que six stations différentes afin de conserver une lisibilité acceptable. Les stations présentées ont été choisies pour refléter la diversité qui existe parmi les stations. Ce choix ne représente en aucun cas de manière proportionnelle les caractéristiques de l'ensemble des stations. On retrouve dans le Tableau 4-7 les indicateurs relatifs à la dispersion des usagers de ces stations.

Tableau 4-7 : Données géométriques sur la dispersion des usagers de six stations (sept-04)

Numéro de station	Station	$da_{s_{moy}}$ (en m)	$d_{s_{CDGs}}$ (en m)	$Ex_{a,s}$
13	6e avenue	668	42	0,062
16	Jean-de-Brébeuf	1 456	548	0,377
18	Beaudry et Robin	3 335	630	0,189
28	St-Antoine et Atwater	1 943	137	0,070
41	Métro Angrignon	2 749	2 381	0,867
64	Métro Sauvé	3 235	2 218	0,685

En observant les chiffres du tableau illustrés sur la Figure 4-24 on remarque une énorme différence en ce qui concerne la distance moyenne domicile-station : les stations 13 et 16, qui font partie des 56% de stations ayant une $da_{s_{moy}} < 1,5km$, ont une « zone d'attraction » bien plus restreinte que les stations 64, 18 et 41. Ces stations ne font par ailleurs pas partie des stations ayant les plus grandes « zones d'attraction ». Certaines stations ont donc une attractivité locale là où d'autres non.

Afin de comprendre les facteurs influençant le caractère local de l'attractivité des stations quelques pistes ont été explorées. En effet, la proximité d'une infrastructure de transport lourde (rail) ou l'éloignement du centre ville peuvent être des facteurs élargissant la zone d'attraction d'une station. Après quelques observations, ces deux postulats : relation entre la distance de la station au métro et la distance abonné-station, et relation entre la distance au centre ville et la distance abonné-station, n'ont malheureusement pas été concluantes. La taille de la « zone d'attraction » n'a donc pu être expliquée par d'autres variables.

L'excentricité (Ex_{a_s}) elle non plus ne semble pas être en relation avec la distance abonnés-station. En effet les stations 28 et 41 qui ont de grandes distances abonnés-station ont des excentricités très différentes. Les usagers de la station 28 sont très bien répartis autour de celle-ci alors que ceux de la station 41 proviennent d'une direction privilégiée : le centre ville de Montréal (ou plutôt le centre de gravité du système : véhicules et abonnés).

De façon plus globale, on remarque que les usagers des stations ayant une forte excentricité proviennent principalement du centre du système (région où l'on retrouve le plus de véhicules et d'abonnés), ce qui paraît logique mais pas évident :

En fait les opérateurs ne parvenant pas à offrir le nombre véhicules nécessaire dans les quartiers où les abonnés sont présents (manque de places disponibles et non collaboration des autorités locales). Ils sont donc obligés de placer les véhicules en périphérie du système, dans des quartiers où ils peuvent implanter de grosses stations. Ces stations ont donc logiquement de fortes excentricités.

Cet aspect n'est a priori pas évident car, comme on l'observe pour d'autres modes, les stations excentrées permettent parfois aux personnes habitant dans des régions éloignées du centre ville d'accéder au service. L'excentricité de ces stations est importante mais la provenance des usagers est orientée vers la périphérie et non vers le centre comme on l'observe ici. L'autopartage est donc un mode ne s'adressant pas (sous cet aspect) à la même population que le transport en commun.

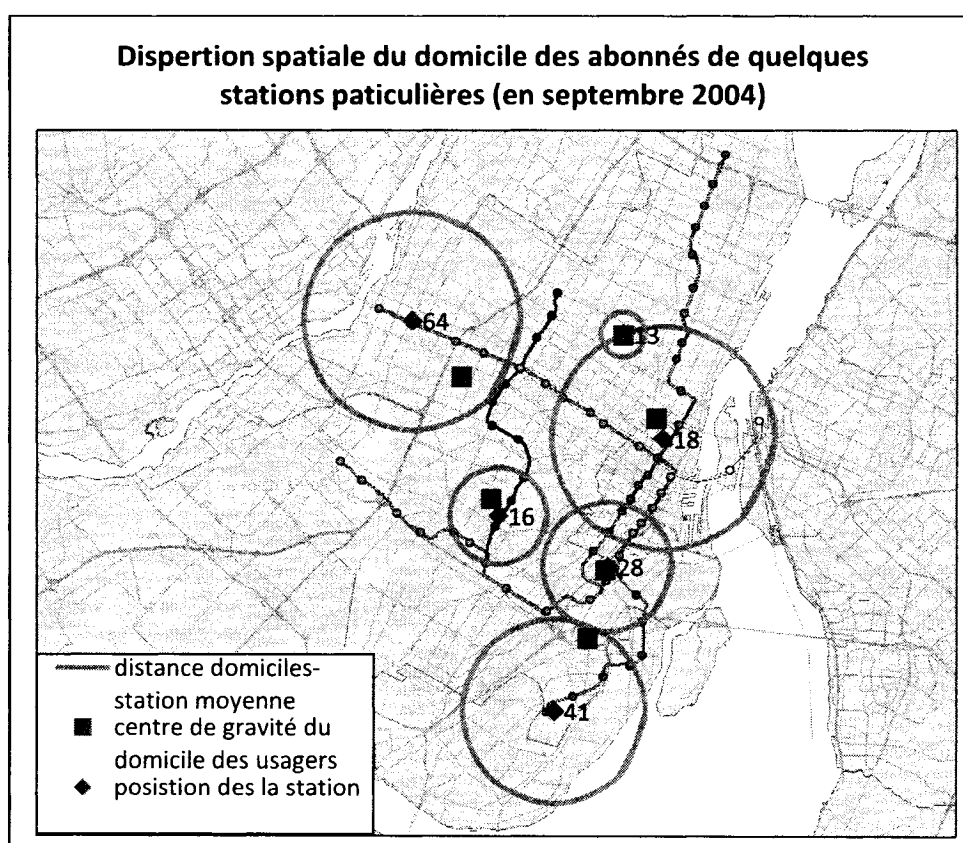


Figure 4-24 : Dispersion spatiale du domicile des usagers de quelques stations particulières

La Figure 4-25 montre la position du domicile des usagers des stations 13, 41 et 64. On observe la forte excentricité des stations 41 et 64 dont les usagers viennent du centre. Pour la station 64 on remarque la forte influence de quelques usagers très éloignés de la station sur la position du CDG_{64} . Ces usagers particuliers sont peut-être des personnes ne provenant pas de leur domicile. Les usagers de la station 13 sont généralement des usagers de proximité répartis dans toutes les directions autour de la station. Même les usagers plus distants sont équitablement répartis autour de la station, c'est pourquoi elle a une excentricité nulle.

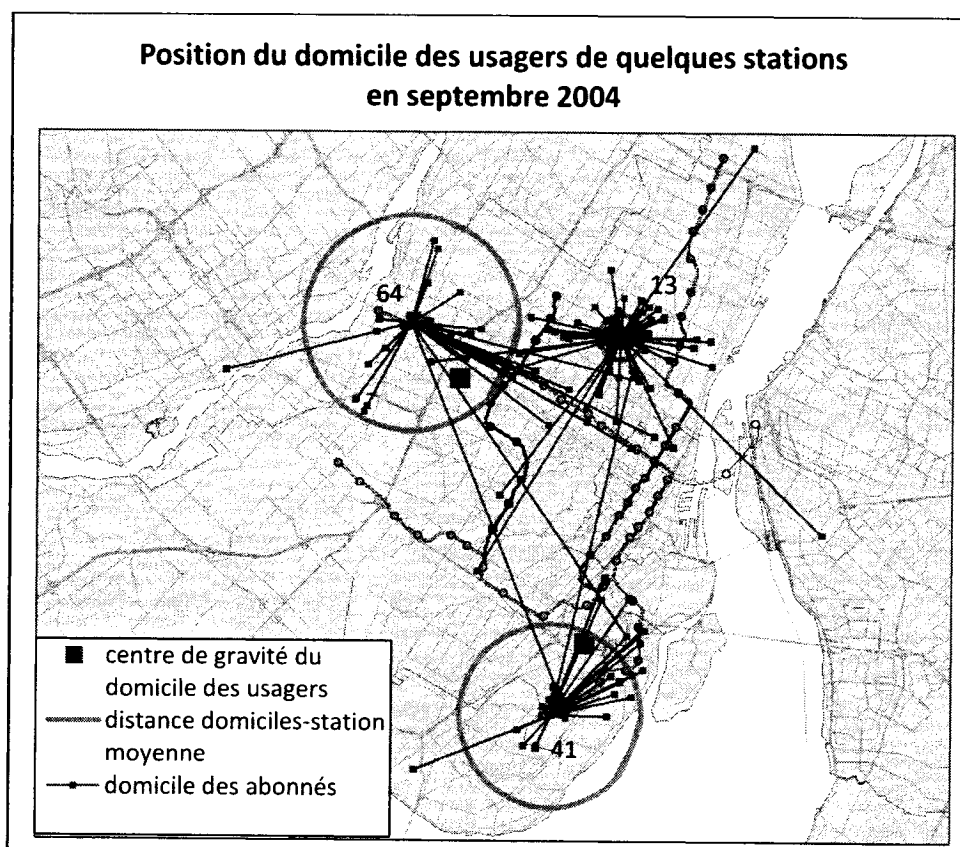


Figure 4-25 : Positions relatives de quelques stations et du domicile de leurs usagers (sept 2004)

4.4.2.4 Potentiel d'attraction des usagers par les stations

Cette section s'appuie encore sur des données d'ordre spatial. Les mesures faites pour estimer le potentiel d'attraction d'une station sont fondées sur la proximité des abonnés à la station qu'ils utilisent.

Dans ce sens deux indicateurs ont été définis : A_{sr} et A_{sp} qui sont respectivement le nombre d'abonnés dont le domicile est situé dans un cercle de rayon r autour de la station et le nombre d'abonnés dont s est la station la plus proche. Les abonnés pris en compte pour le calcul sont tous les abonnés ayant fait au moins une réservation lors du mois de septembre 2004 (même s'ils ne l'ont pas utilisée).

Les distances euclidiennes étant calculées, elles diffèrent des réelles distances d'accès parcourues par les abonnés pour se rendre aux stations. Dans les zones où les stations sont très nombreuses (ex : *Plateau Mont-Royal*), il est très probable que la station la plus proche du domicile d'utilisateur diffère suivant le calcul (distance orthogonale ou distance sur le réseau).

On a observé les 2363 abonnés actifs lors du mois de septembre 2004 qui ont effectué des réservations dans 77 stations différentes (Tableau 4-1).

La Figure 4-26 représente les stations en fonction du nombre d'abonnés dont le domicile est à une distance de 1000 mètres ou moins. Les abonnés situés dans ce périmètre ont une probabilité plus importante de l'utiliser que les autres. On remarque que les stations ayant le plus d'abonnés à proximité sont situées dans le centre du système (sur le *Plateau Mont-Royal*). Pour la station *Garnier*, $A_{sr} = A_{3_1000} = 353$ usagers, c'est la station pour laquelle cette valeur est maximale. La station ayant le moins d'abonnés dans son entourage est la station *Provost* située dans l'arrondissement *Lachine* qui est excentré par rapport au système d'autopartage. Cette station ne dispose que d'un abonné à moins d'un kilomètre. Les stations périphériques n'ont généralement que très peu d'abonnés dans leur entourage. Les stations ont en moyenne 120 abonnés à moins d'un kilomètre.

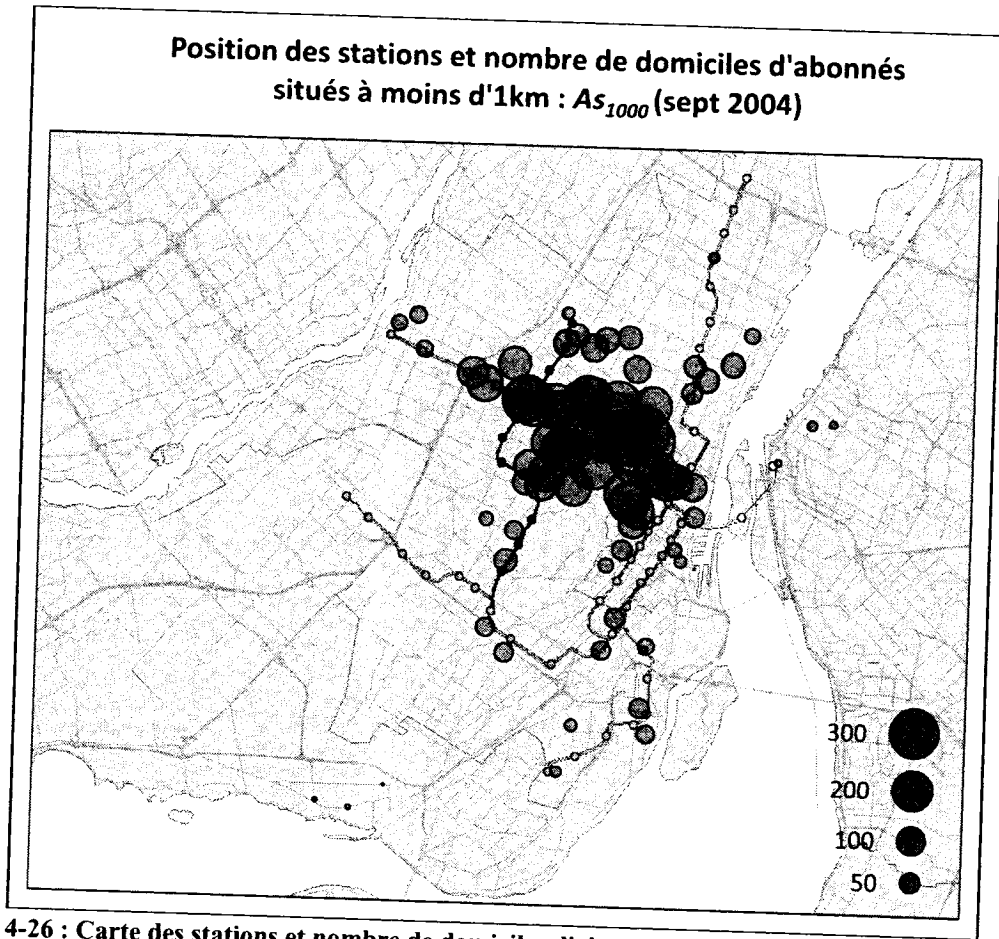


Figure 4-26 : Carte des stations et nombre de domiciles d'abonnés situés à moins d'1km : AS_{1000} (sept 2004)

La Figure 4-27 illustre une nouvelle fois l'indicateur AS_{1000} pour trois stations différentes.

- La station *Garnier* située au centre, qui a le plus d'abonnés proches : 353
- La station *Provost* située au sud qui n'a qu'un abonné
- La station *6^{ème} Avenue* qui, avec un AS_{1000} de 84 abonnés, est proche de la moyenne.

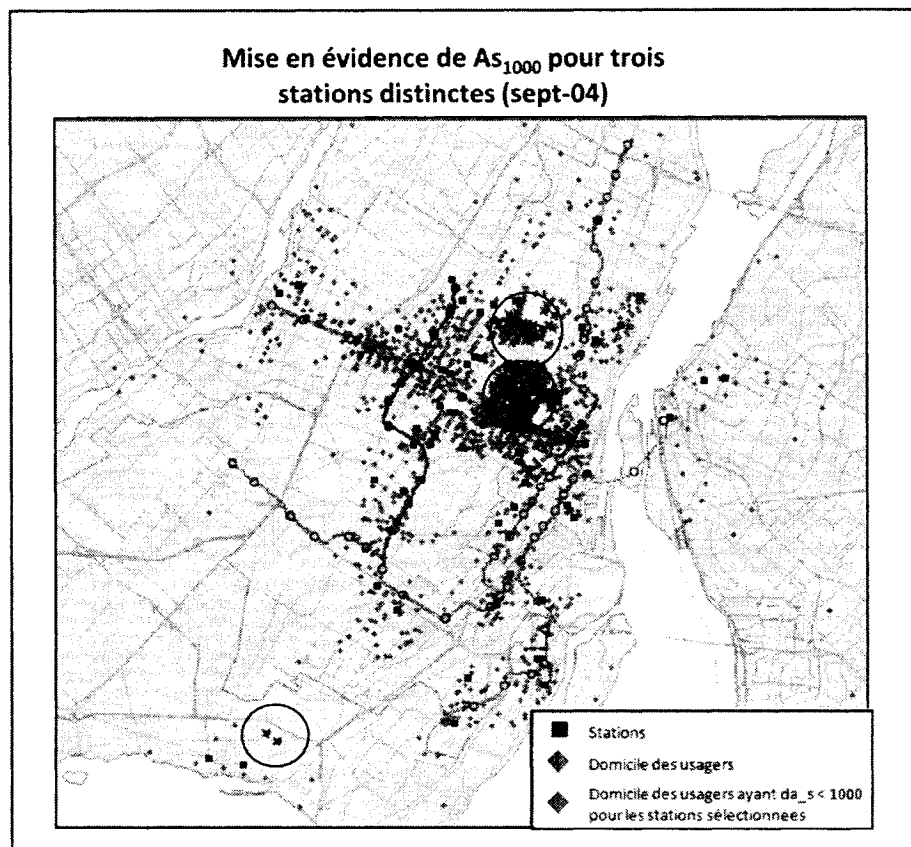


Figure 4-27 : Mise en évidence spatiale de As_{1000} pour trois stations distinctes (sept 2004)

Concernant le deuxième indicateur : Asp qui représente le nombre d'utilisateurs dont c'est la station la plus proche, les valeurs sont bien plus groupées. Les valeurs d' Asp s'étendent, pour le mois de septembre 2004, de 3 abonnés pour la station *Victoria et 17^e avenue* (arrondissement *Lachine*) à 89 pour la station *St-Joseph et de Bullion* située dans l'arrondissement *Plateau Mont Royal*. Pour l'ensemble des stations Asp est en moyenne de 30.7 abonnés.

Le fait que les valeurs de cet indicateur soient relativement groupées autour de la moyenne indique que les stations sont assez bien réparties par rapport aux usagers. Cela peut aussi indiquer que la présence de station entraîne une adhésion de personnes habitant dans le voisinage de celle-ci.

On peut noter que l'ancienneté d'une station n'explique pas systématiquement la forte densité d'abonnés à proximité. En effet les stations de l'arrondissement *Lachine* (au

Sud) sont, selon les deux indicateurs (Asp et As_{1000}), parmi les stations les moins potentiellement attractives, elles étaient pourtant déjà en service l'année précédente. La faible densité d'utilisateurs autour de ces stations est peut-être due au faible nombre de véhicules disponibles : 4 véhicules dans les 3 stations de cet arrondissement.

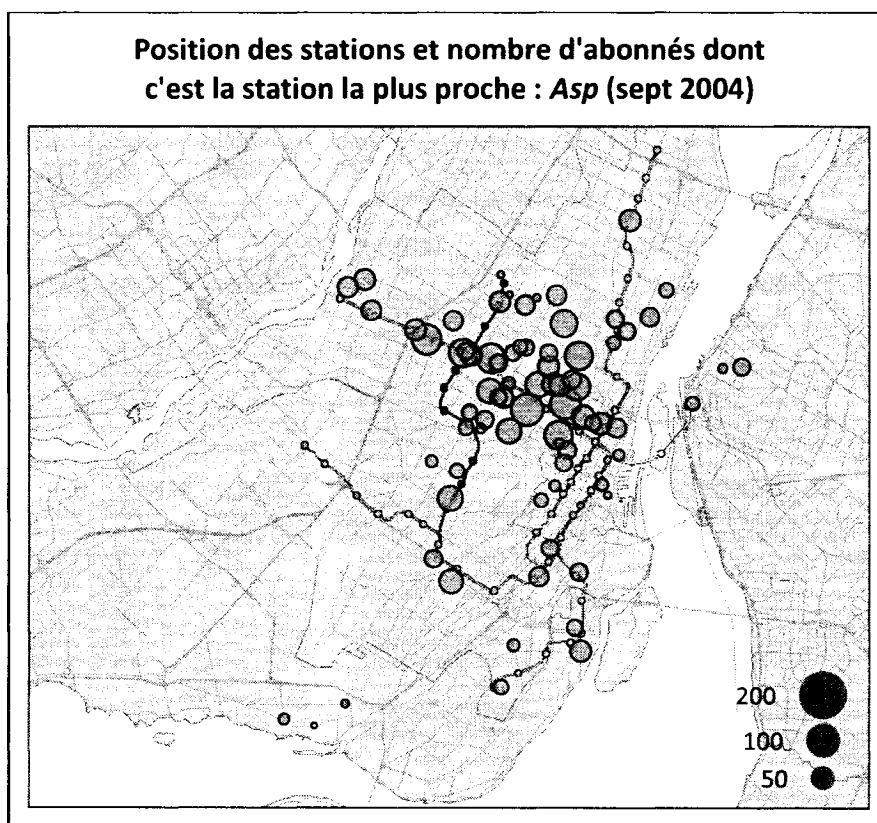


Figure 4-28 : Carte des stations et nombre d'abonnés dont c'est la station la plus proche : Asp (sept 2004)

4.4.3 Stations : leurs véhicules

Les éléments opérationnels qui caractérisent le mieux les stations du système sont bien les véhicules qui y sont attirés. En effet, ces derniers étant systématiquement empruntés et rapportés à une unique et même station, ils sont la partie opérante propre à chaque station. Le fournisseur de service montréalais propose un service 24h/24, 7jours/7 dans chacune de ses stations. La capacité des stations (V_s) a déjà été discutée (§4.4.1.1). Pour les études transversales, on considère que cette capacité est constante sur l'ensemble de la période observée. Il est utile de rappeler que cette hypothèse occulte toutes les

périodes d'entretien des véhicules ainsi que l'acquisition de nouveaux véhicules durant la période observée.

Cette section s'intéresse principalement au taux d'utilisation de ces véhicules durant un intervalle de temps. Pour se faire, on définira dans un premier temps la capacité opérationnelle d'une station, puis on s'attardera sur le taux d'utilisation de ses véhicules.

4.4.3.1 Capacité opérationnelle des stations

La capacité opérationnelle des stations définie dans le chapitre 3.4.3, est la durée totale de disponibilité de l'ensemble des véhicules de la station : C_s . Cette capacité opérationnelle est donc exprimée en véhicule-heures. Pour une étude transversale, la capacité opérationnelle d'une station est directement proportionnelle à sa capacité. En effet, sur un mois de septembre comportant 30 jours et en prenant l'hypothèse citée en introduction, la capacité opérationnelle d'un véhicule est de $30 \times 24 = 720$ veh-h. Pour chaque station sur un mois de septembre, la capacité opérationnelle est donc : $C_s = 720 \times V_s$ veh-h.

L'allure de la distribution des stations selon leur capacité opérationnelle ainsi que leur répartition spatiale sont donc semblables à celles des capacités (chap. 4.4.1.1).

4.4.3.2 Taux d'utilisation des stations

Le taux d'utilisation des stations est calculé de la même façon que celui du système complet (§ 4.3.2). La seule différence est que dans ce cas, seuls les véhicules de la station seront agrégés. On rappelle que pour calculer ce taux, seules les utilisations sont prises en compte. Ce choix vise à évaluer l'utilisation réelle du service.

A titre informatif, le calcul a également été fait en comptabilisant toutes les réservations actives (y compris les non utilisées). Dans la plupart des stations la différence est minime : pour le mois de septembre 2004, la différence moyenne entre les deux taux d'utilisation était de 0.96%, les réservations non utilisées sont donc une part négligeable en terme de taux d'utilisation.

La Figure 4-29 montre la distribution des stations selon le taux d'utilisation global sur le mois de septembre 2004. La station qui a le plus faible taux d'utilisation ($\Gamma_s = 20.8\%$)

est la station *François-Perrault* située en périphérie du système dans le nord. Elle ne comporte qu'un seul véhicule. A l'opposé, parmi les stations ayant le plus fort taux d'utilisation ($\Gamma_s > 60\%$), on retrouve deux stations situées dans le centre du système (*St Sacrement* et *Marché St-Jacques*) et une station excentrée (*Métro Longueuil-Port-de-Mer*) qui est située en banlieue de Montréal sur la rive sud du fleuve Saint Laurent.

La distribution suit une loi normale d'espérance 46,8% et d'écart type 8,7%, les tests Kolmogorov-Smirnov et χ^2 ont validé cette hypothèse. La faible valeur de l'écart type indique que les stations sont presque toutes groupées autour d'un taux d'utilisation global de 46,8%. En effet 46 des 77 stations en service avaient un taux d'utilisation compris entre 40 et 55%.

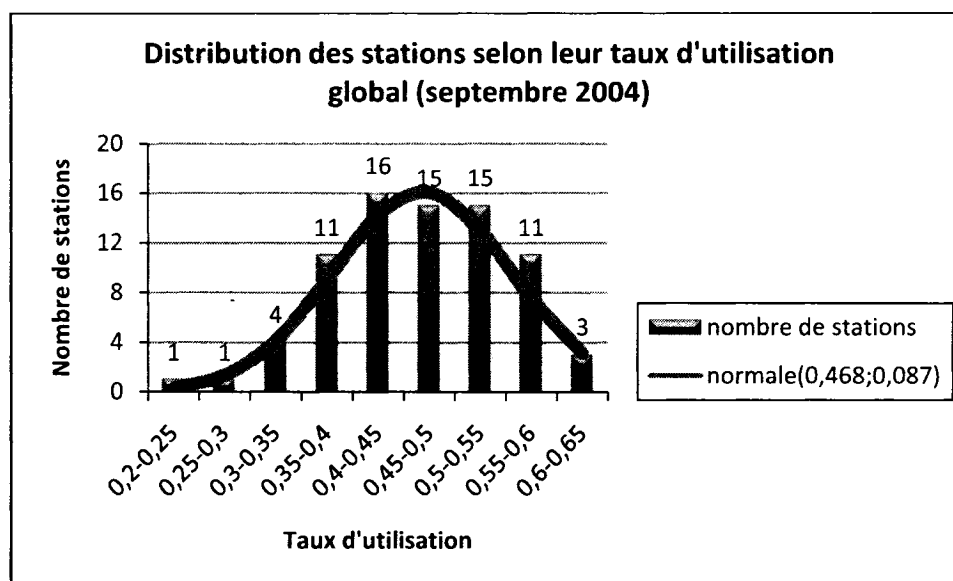


Figure 4-29 : Distribution des stations selon leur taux d'utilisation global (sept 2004)

On ne remarque pas de loi générale entre le taux d'utilisation et la situation géographique ou la capacité des stations.

4.4.3.3 Utilisation des véhicules de quelques stations en septembre 2004

Afin d'illustrer le taux d'utilisation des stations, cette section examine, pour deux stations distinctes, différentes périodes d'utilisation de leurs véhicules.

La première station étudiée est la station *St Sacrement* qui a le plus fort taux d'utilisation sur l'ensemble du mois ($\Gamma_s = 64,5\%$), elle est par ailleurs la station ayant la plus forte capacité ($V_s = 9$). Elle est située dans la région centrale du système : dans l'arrondissement *Plateau Mont Royal*.

La seconde est la station *Saint-Michel et Beaubien* située plus en périphérie (au nord) Elle est, parmi les stations de taille moyenne ($V_s = 4$), celle qui a le plus faible taux d'utilisation ($\Gamma_s = 35,7\%$).

De manière générale, sur un mois de septembre de fonctionnement, on remarque une forte différence entre les périodes nocturnes où le taux d'utilisation est très faible et les périodes diurnes. L'activité est également plus importante en fin de semaine qu'en semaine (essentiellement durant la nuit).

La Figure 4-30 représente l'utilisation des véhicules de la station *St Sacrement* sur l'ensemble du mois. Le taux d'utilisation global a été de 65.4%. Si on réduit l'intervalle de calcul à la période 7h – 21h (comme en §4.3.2), ce taux passe à 76.5%. Les véhicules de cette station ont donc été très sollicités durant cette période.

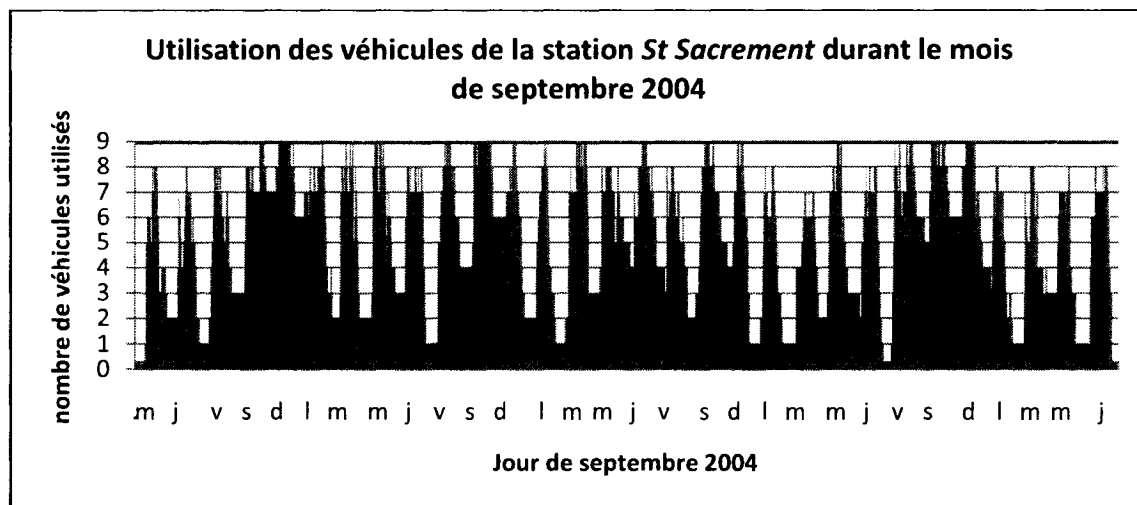


Figure 4-30 : Utilisation des véhicules de la station St Sacrement durant un mois (sept 2004)

La station *Saint-Michel et Beaubien* a, sur la même période (Figure 4-31), bien moins été utilisée. Globalement $\Gamma_s = 35,7\%$ et sur la période de pointe $\Gamma_s = 45,2\%$. La

hausse en fin de semaine est claire sur cette figure et, du fait du peu de véhicules attirés à cette station, on remarque les utilisations de longue durée durant les première et dernière fins de semaine.

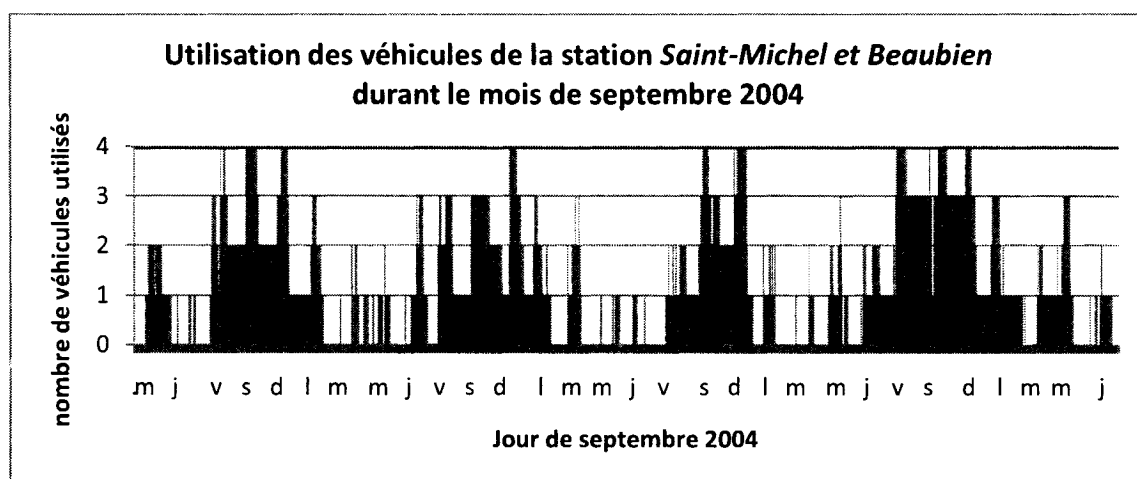


Figure 4-31: Utilisation des véhicules de la station Saint-Michel et Beaubien (sept 2004)

En examinant l'ensemble de la flotte (chap. 4.3.2), il avait été noté une augmentation du nombre d'utilisations continue entre le lundi et le dimanche. Dans les deux figures précédentes cet aspect n'est pas évident : seules les fins de semaine connaissent une apparente augmentation d'achalandage.

En réduisant la période d'observation on peut observer l'utilisation des véhicules d'une station de manière plus détaillée. La Figure 4-32 représente l'utilisation des véhicules de la station *St Sacrement* durant une semaine, y figurent aussi les taux d'utilisation sur 24h et sur l'intervalle 7h – 21h calculé pour chacun des jours de la semaine. Les taux d'utilisation du lundi 6 septembre 2004 sont plus élevés que ceux d'un lundi « normal », en effet en 2004 la fête du travail était à cette date. Les taux d'utilisation observés sont comparables à ceux d'une journée de fin de semaine ce qui paraît logique. Outre ce phénomène, on remarque une grosse différence entre le taux d'utilisation sur 24h des jours de semaine (environ 60%) et celui des jours de fin de semaine (environ 75%). Cette différence est très atténuée pour le taux calculé entre 7h et 21h. Ceci résulte de l'augmentation importante des utilisations de longue durée (au tarif inter-réseau) durant

les fins de semaine, les véhicules étant empruntés même durant la nuit, le taux d'utilisation sur 24h augmente largement.

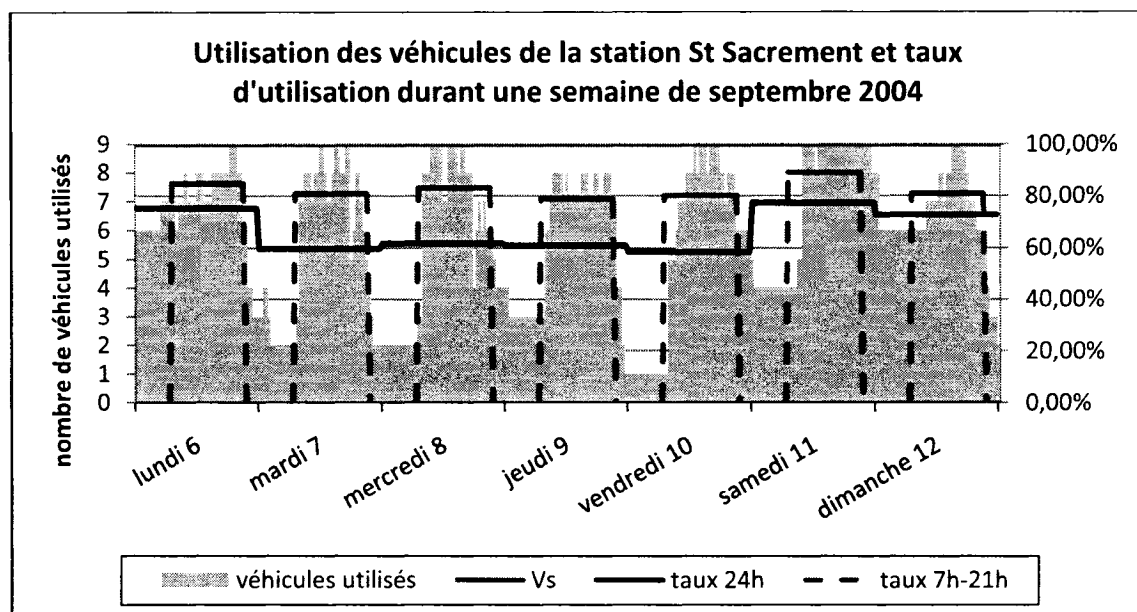


Figure 4-32 : Utilisation des véhicules de la station *St Sacrement* durant une semaine de septembre 2004

4.5 Les Véhicules : propriétés et évolution

Les véhicules sont attirés à des stations, leur étude est donc très liée à celle des stations auxquelles ils appartiennent. Lors de la réservation, les abonnés doivent choisir le véhicule de la station qu'ils vont utiliser suivant les disponibilités. On retrouvera dans ce chapitre des indicateurs opérationnels concernant ces véhicules.

4.5.1 L'ensemble de la flotte

Comme pour chacune des entités composant le système d'autopartage, on peut déterminer les volumes de service utilisés par les véhicules. La Figure 4-33 montre, pour le mois de septembre 2004, la distribution des 223 véhicules utilisés selon le nombre d'utilisations qu'ils ont faites (U_v).

Seuls 14 d'entre eux ont été utilisés moins de 20 fois. A l'opposé, 13 véhicules ont été utilisés 55 fois ou plus. On compte parmi ces véhicules qui ont été très peu utilisés ceux

qui sont entrés en service durant le mois et (peut être) ceux qui ont été immobilisés une partie du mois pour entretien. Durant cette période, les véhicules ont été en moyenne utilisés 37 fois ce qui correspond à une fréquence hebdomadaire moyenne de $f_{uv_moy} = 8.67$ utilisations.

La durée des utilisations a une influence importante sur le nombre d'utilisations effectuées par un même véhicule. En effet, si un véhicule a été utilisé pour une réservation de plusieurs jours, une seule utilisation est comptabilisée. Le tarif utilisé est très bien corrélé avec la durée des utilisations : en général tarif local pour des utilisations inférieures à 24h et tarif inter-réseau pour des utilisations plus longues. On a donc utilisé cet attribut pour montrer la relation entre durée et nombre des utilisations faite par les véhicules (Figure 4-33). Elle fait figurer les répartitions des utilisations selon le tarif choisi dans chacun des groupes.

On remarque que quel que soit le nombre d'utilisations effectués, plus de 80% d'entre elles sont faites au tarif local, la part des réservations au tarif inter-réseau reste donc peu élevée. Comme expliqué plus haut, on note aussi une diminution constante de la part des utilisations au tarif inter-réseau avec l'augmentation du nombre d'utilisations.

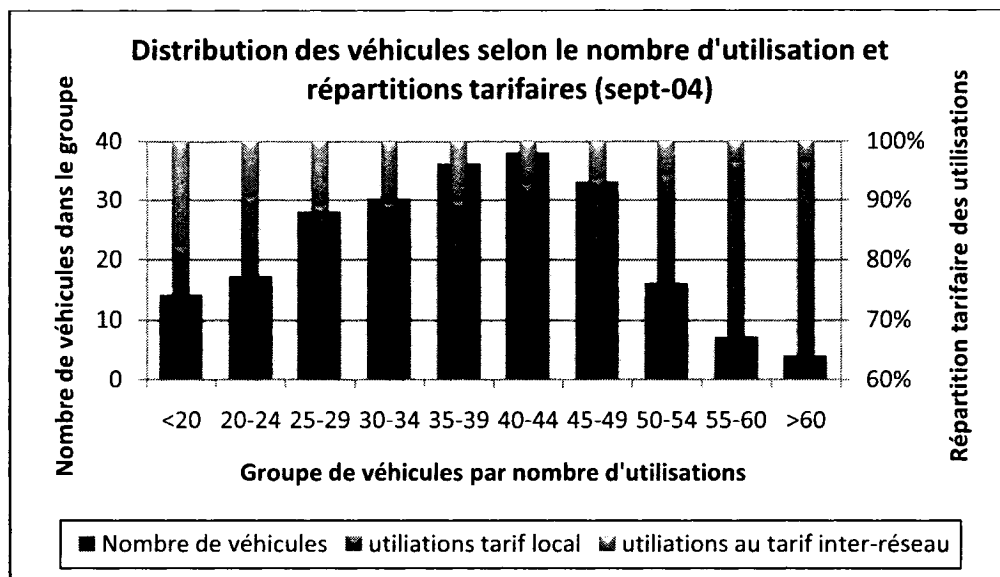


Figure 4-33 : Distribution des véhicules selon le nombre d'utilisation et répartitions tarifaires (sept 2004)

L'évolution globale de l'utilisation des véhicules sur les trois mois de septembre consécutifs semble relativement stable. Le Tableau 4-8 recense quelques indicateurs importants sur ces trois mois.

Le fait remarquable est la légère augmentation du nombre moyen d'utilisations par véhicule. De la même façon, on note une augmentation du nombre d'heures d'utilisation des véhicules, ceci implique une augmentation du taux d'utilisation. On peut aussi remarquer que le taux d'utilisation moyen d'un véhicule est, pour la même période plus élevé que le taux d'utilisation moyen des stations (48,9% contre 46,8% en septembre 2004). Ceci s'explique par la différence de méthode de calcul : dans le cas des stations, plusieurs véhicules sont agrégés, ce n'est pas le cas ici.

Tableau 4-8 : Évolution des indicateurs de service pour un véhicule

	sept-03	sept-04	sept-05
Nombre d'utilisations	32,7	37,2	36,5
Fréquence hebdomadaire f_{uv}	7,6	8,7	8,5
veh-h	336,3	352,1	351,5
veh-km	2539,8	2666,3	2498,4
Vitesse virtuelle moyenne	7,55	7,57	7,11
Taux d'utilisation moyen	46,7%	48,9%	48,5%

Les deux figures suivantes sont des représentations graphiques des indicateurs recensés dans le Tableau 4-8, on a néanmoins segmenté ces indicateurs en fonction du type de tarif appliqué lors de chacune des utilisations.

La Figure 4-34, qui représente le nombre mensuel d'utilisations, laisse apparaître une diminution sensible des utilisations au tarif inter-réseau (de 3,1 à 2,7 u/veh). Cette diminution est d'autant plus importante que, comme il est indiqué plus haut, le nombre d'utilisations tous tarifs confondus a augmenté de 32,7 à 36,5 u/veh. Pour les véhicules, la part des utilisations au tarif inter-réseau a donc largement diminué passant de 9,6 à 7,3% soit une baisse de près de 22%.

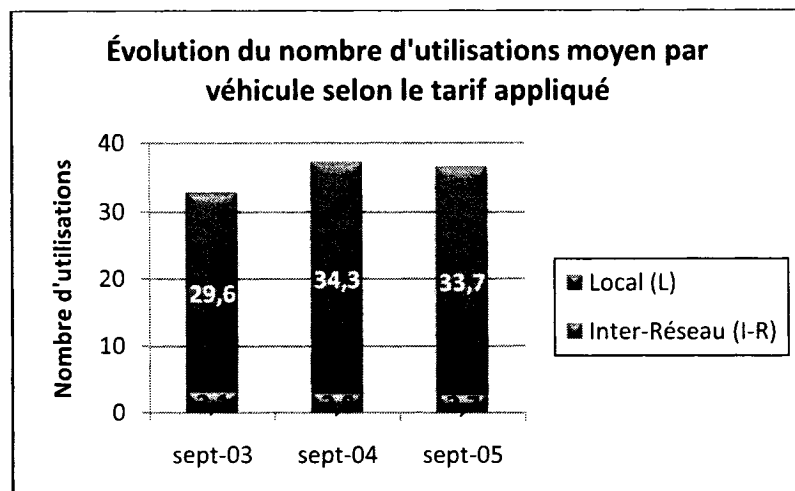


Figure 4-34 : Évolution du nombre d'utilisations moyen par voiture selon le tarif appliqué

Concernant la structure des utilisations des véhicules (durées et distances, Figure 4-35), elle est semblable pour les mois de septembre 2003 et 2004 mais on remarque une diminution de la distance parcourue pour les utilisations au tarif local de septembre 2005. En effet, la vitesse virtuelle de parcours des utilisations au tarif local passe entre 2004 et 2005 de 6,5 à 5,9 km/h.

On peut faire plusieurs hypothèses pour expliquer ceci : les usagers prennent peut être plus de marge en réservant leur auto afin de limiter les risques de pénalité. Il est également possible que les abonnés utilisent plus systématiquement le service, même pour des activités longues à des distances relativement faibles.

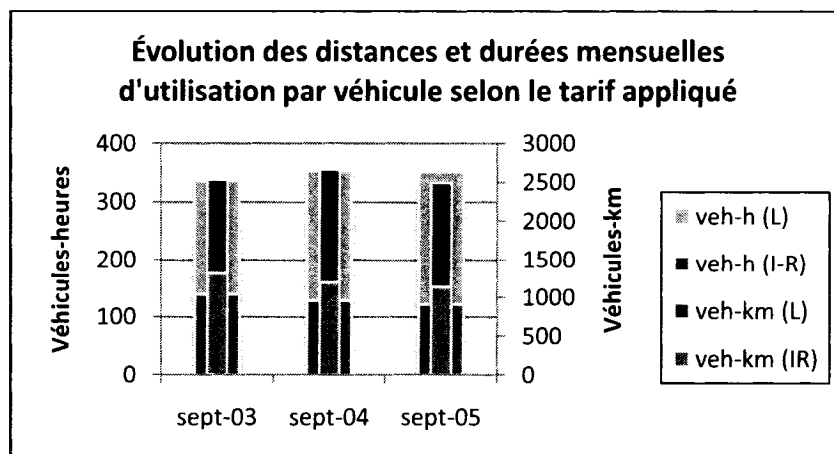


Figure 4-35 : Évolution des distances et durées mensuelles d'utilisation par véhicule selon le tarif appliqué

4.5.2 Un échantillon de véhicules

Afin d'illustrer la diversité qui existe dans l'utilisation des véhicules, les figures suivantes illustrent le nombre d'utilisations selon le tarif de chacun des véhicules de la station *St Sacrement* durant le mois de septembre 2004. Elles indiquent également la distance et la durée moyenne des utilisations selon les tarifs choisis. La station *St Sacrement* a été retenue car c'est la station comportant le plus de véhicules différents (9) et où ces véhicules sont les plus sollicités (fort taux d'utilisation).

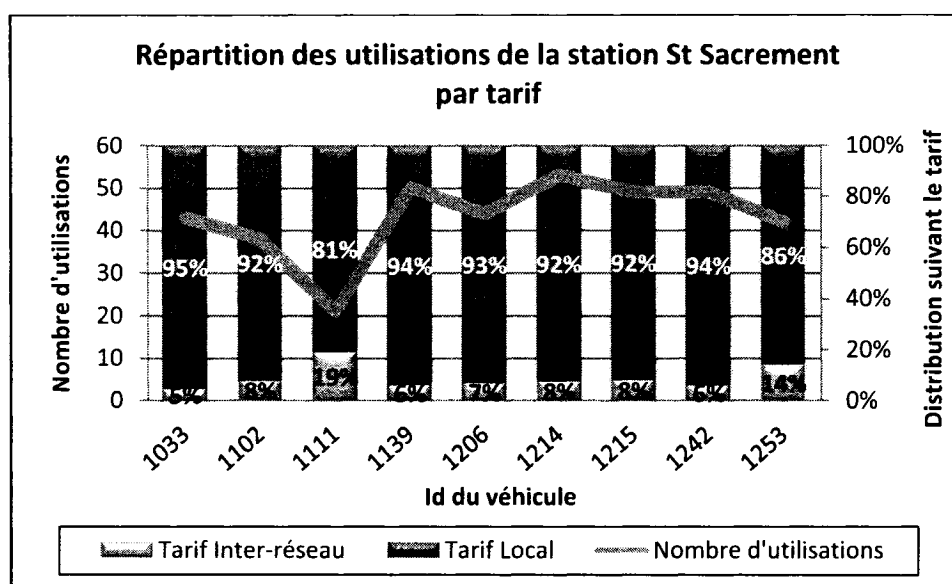


Figure 4-36 : Répartition des utilisations de la station St Sacrement par tarif (sept 2004)

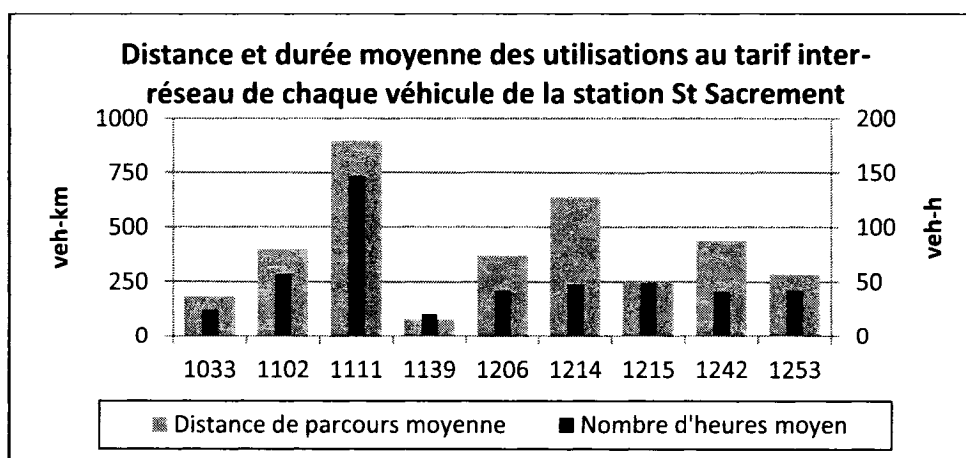


Figure 4-37 : Distance et durée moyenne des utilisations au tarif inter-réseau de chaque véhicule de la station St Sacrement (sept 2004)

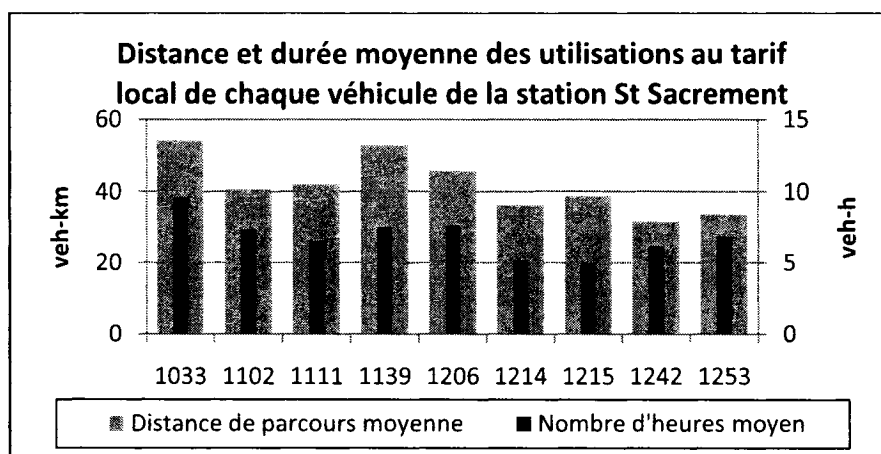


Figure 4-38 : Distance et durée moyenne des utilisations au tarif local de chaque véhicule de la station St Sacrement (sept 2004)

On remarque que les véhicules de cette station ont été plus utilisés que l'ensemble des véhicules (Figure 4-36) puisqu'ils ont en moyenne effectué 37.2 utilisations sur ce mois. Seul le véhicule n°1111 a été peu utilisé (21 fois). Ceci s'explique par les longues utilisations au tarif inter-réseau (du_moy = 147h) qu'il a effectué par rapport aux autres véhicules (Figure 4-37).

La comparaison entre la structure des utilisations suivant les tarifs (Figure 4-37 vs Figure 4-38) montre de grandes différences : au tarif local, les véhicules ont tous des utilisations similaires (durées et distances sont du même ordre de grandeur pour chacun des véhicules). A contrario, au tarif inter-réseau, on observe de grandes différences entre les véhicules. Cette différence est principalement due au volume d'utilisations. Au tarif inter-réseau le nombre d'utilisations est bien plus faible qu'au tarif local, on ne profite plus de l'effet de lissage engendré par la masse.

4.5.3 Véhicules : temps roulés et stationnés

Durant une utilisation, du fait de la contrainte de ramener le véhicule dans la station où il a été emprunté, le véhicule est alternativement utilisé pour déplacer l'abonné et stationné à proximité de la, ou des diverses activités pour lesquelles il a été emprunté. Il est donc essentiel de pouvoir estimer le temps d'utilisation où le véhicule n'a pas été réellement utilisé. Dans un système parfait, ces temps de stationnement devraient être nuls et les

utilisateurs d'un même véhicule se succéderaient sans que ce dernier ne soit stationné pendant de longues périodes. Évidemment on est loin de la perfection et plusieurs contraintes impliquent une impossibilité d'atteindre le système parfait. En effet, en plus des contraintes technologiques qui empêchent les opérateurs de proposer des véhicules en libre service dans un système sans stations, la structure de la ville implique des déplacements dans des directions privilégiées suivant les heures de la journée : des zones se trouveraient alors dépourvues de véhicules au moment où d'autres seraient saturées (ce qui est observé pour l'ensemble des véhicules particuliers).

Afin d'évaluer ce temps stationné, l'hypothèse faite est celle selon laquelle les utilisations faites au tarif local se font exclusivement en milieu urbain. En milieu urbain on estime la vitesse moyenne de parcours à 40km/h (Aronsson, 2006). Connaissant la distance parcourue lors de chacune des utilisations, on peut déterminer le temps durant lequel le véhicule a effectivement circulé. Le reste du temps aura été perdu : le véhicule aura été stationné soit dans son stationnement, soit à l'extérieur de celui-ci.

Le temps stationné occupe une très large majorité du temps d'utilisation des véhicules au tarif local : en septembre 2004 les véhicules étaient stationnés près de 84% de leur temps d'utilisation. Même le véhicule ayant le « moins » perdu de temps a été stationné durant plus de 71% de son temps d'utilisation. Sur les trois mois de septembre consécutifs, on ne remarque pas de réel changement : en 2005 c'est durant 85% du temps d'utilisation au tarif local que les véhicules ont été stationnés.

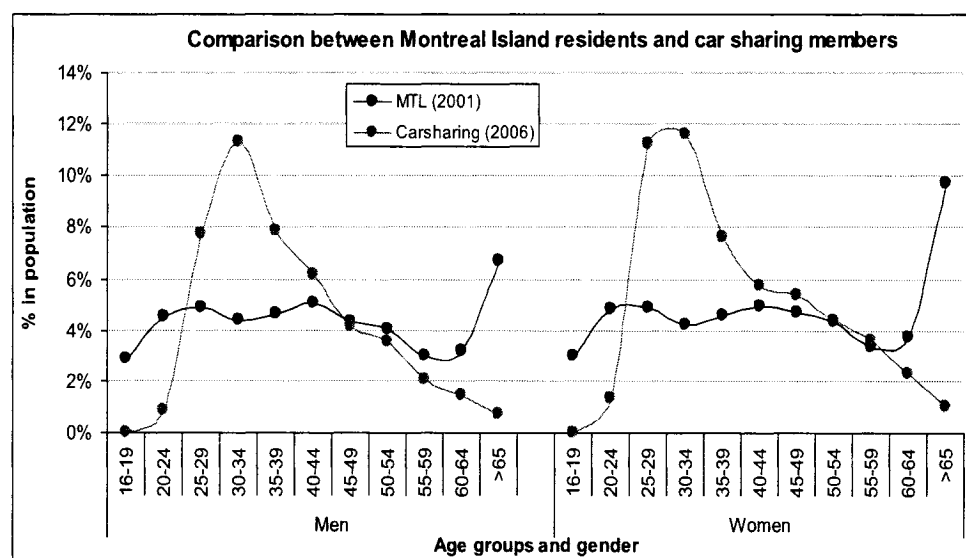
On note néanmoins que certaines utilisations ont eu des vitesses virtuelles supérieures à 40 km/h. Pour ces utilisations, il est probable qu'elles se soient effectuées à l'extérieur de la ville et pour des activités de durées très courtes.

4.6 Les abonnés : propriétés et évolution

Les abonnés constituent le troisième objet principal du service d'autopartage. La présente section vise à les caractériser ainsi que leur comportement dans le système.

4.6.1 Caractéristiques principales des abonnés

Comme il a été avancé plus haut (§1.5), les usagers de l'autopartage ont des caractéristiques propres. Ces caractères qui diffèrent de ceux de la population générale sont de différents ordres : démographiques bien sûr, mais aussi des caractères plus géographiques qui sont souvent corrélés à la disponibilité des différents services de transport et à la facilité de stationnement. La Figure 4-39 représente les distributions démographiques en pourcentage des membres de l'autopartage et des résidents de Montréal ayant 16 ans et plus. La population de Montréal n'ayant que très peu évolué durant les 5 dernières années, l'impact de la différence de date entre les deux mesures est très légère. Deux faits remarquables sont à noter : tout d'abord les usagers de l'autopartage sont plus jeunes (39.1 ans en moyenne) que la population locale (44.8 ans). On note également une plus importante présence des femmes dans les usagers du service d'autopartage et ce, même vis-à-vis de la population (le ratio homme/femme est de 0.835 pour les membres de l'autopartage contre 0.866 pour la population de Montréal).



(Morency, Trépanier, & Martin, 2007)

Figure 4-39 : Comparaison entre les résidents de l'île de Montréal et les membres de l'autopartage

Sur un plan géographique, la Figure 4-40 montre la position du domicile des usagers actifs durant le mois de septembre 2004; elle fait également figurer la position des stations du service d'autopartage et les différentes lignes de métro. On remarque que les membres du service d'autopartage sont dans les zones où la densité de stations est forte. Les zones dépourvues de stations ne comportent pas ou peu d'usagers. Le deuxième facteur remarquable est l'apparente faible corrélation entre proximité du métro et adhésion au service d'autopartage.

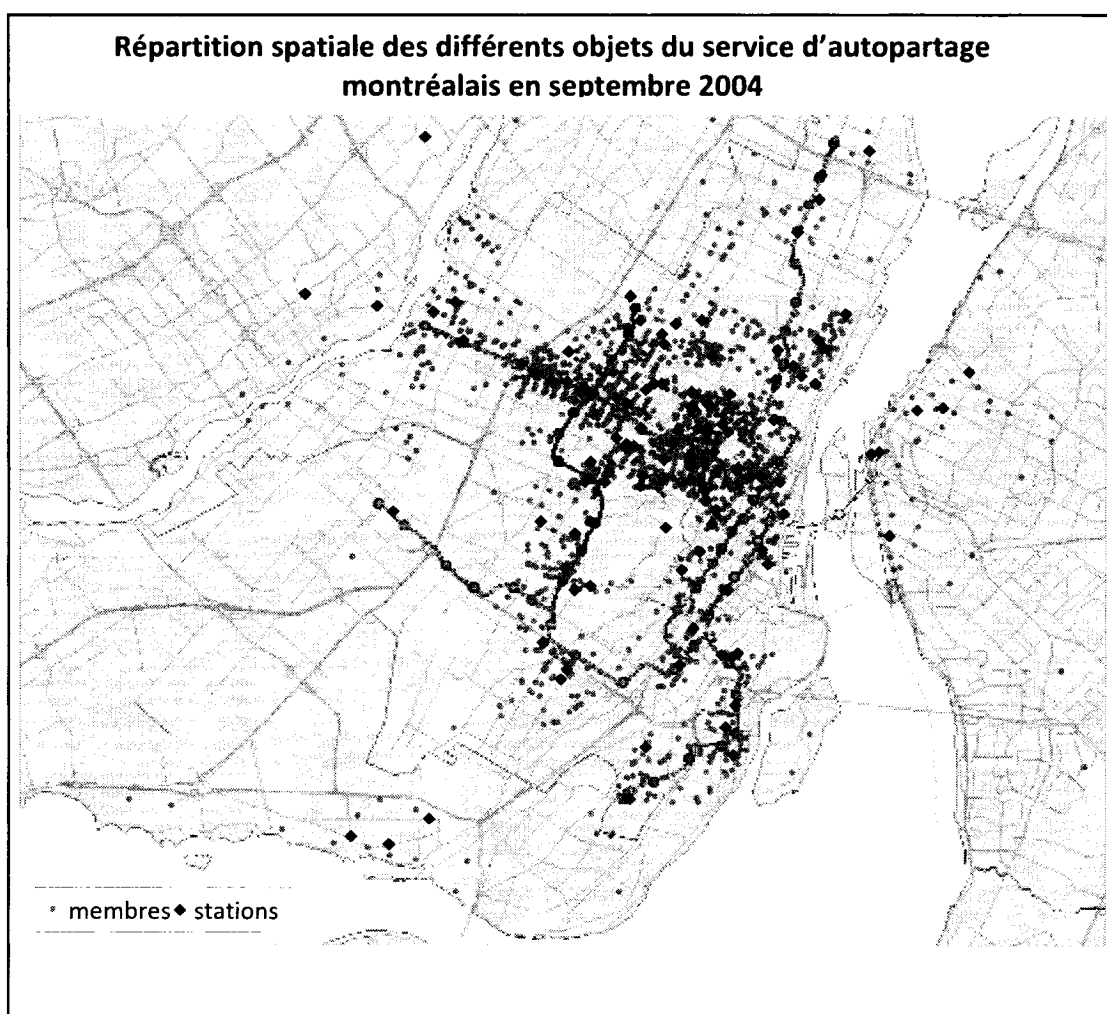
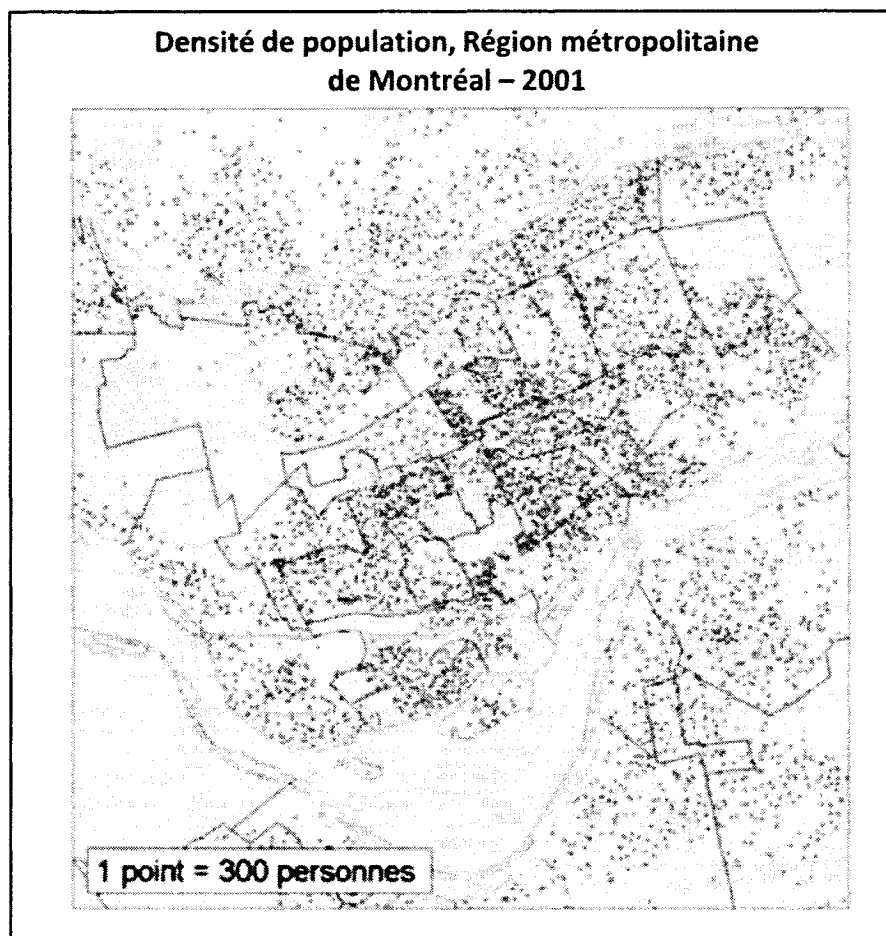


Figure 4-40 : Répartition spatiale des différents objets de service d'autopartage montréalais (sept 2004)

Un des facteurs déjà avancé dans le chapitre 1.5 permettant de comprendre la localisation du service d'autopartage est la densité de la population. Plus cette densité est élevée, plus les habitants ont du mal à stationner leur véhicule. L'usage de l'autopartage permet, en plus d'autres contraintes, de s'affranchir de ce problème de stationnement résidentiel. La Figure 4-41 représente la densité de population en 2001 sur l'île de Montréal. On remarque que la grande majorité des stations et du domicile des usagers de l'autopartage sont situés dans les zones les plus peuplées de l'agglomération.



(Ville de Montréal, 2005)

Figure 4-41 : Densité de population, Région métropolitaine de Montréal – 2001

Une étude plus précise des caractères particuliers des usagers de l'autopartage résidents dans l'un des quartiers les plus populaires auprès de ces derniers a été menée. Elle utilise

à la fois des résultats d'un sondage mené par Communauto en 2004 et des données provenant de l'enquête origine-destination réalisée en 2003. Cette étude est disponible au chapitre CHAPITRE 6 :.

4.6.2 Abonnés : volume d'utilisation

Au cours du mois de septembre 2004, sur les 2 363 usagers qui ont fait 10 175 réservations, 3% ont choisi d'annuler toutes leurs réservations ou de ne pas les utiliser. Un usager a même annulé 19 réservations durant ce mois. Ainsi seuls 2287 usagers ont effectué des réservations actives, ils ont effectué 10054 utilisations soit une moyenne de 3,6 utilisations par usager. Mais la distribution de ces fréquences d'utilisations est très inégale. L'écart type est en effet de 3.8. 65.6% des usagers ont utilisé le service trois fois ou moins et plus de 32% ne l'ont utilisé qu'une seule fois durant le mois. On peut donc considérer que les usagers « fréquents » sont ceux ayant effectué quatre utilisations ou plus; ils constituent 34.4% des abonnés actifs durant septembre 2004. La Figure 4-42 représente la répartition des usagers par leur fréquence d'utilisation durant le mois de septembre 2004 f_{ua} . On remarque une diminution constante du nombre d'usagers avec l'augmentation de la fréquence d'utilisation.

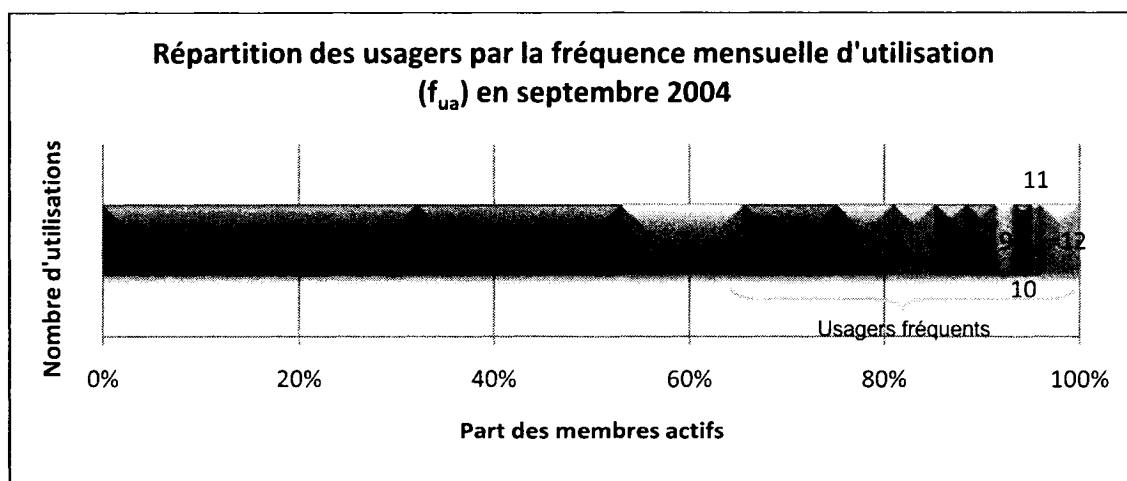


Figure 4-42 : Répartition des usagers par fréquence mensuelle d'utilisation (sept 2004)

4.6.3 Abonnés : distance et durée d'utilisation

Les usagers sont les seuls vrais éléments actifs du système. Ceux sont eux qui dirigent le fonctionnement du système même si la notion de disponibilité (offre) est primordiale.

La distance parcourue par chacun des usagers est une mesure importante pour caractériser leur comportement. On remarque que 39% des usagers actifs ont parcouru moins de 100 kilomètres et, comme pour le nombre d'utilisations, on note une diminution constante du nombre d'usagers avec l'augmentation de la distance parcourue à une échelle macroscopique (Figure 4-43).

En moyenne les usagers ont effectué 252 km au volant d'une automobile du service durant ce mois. Ils ont ainsi fait en moyenne 89 km par utilisation. On peut aussi évaluer l'impact de la fréquence d'utilisation sur la distance de parcours : on remarque en effet que la part des usagers fréquents augmente à partir de 200 kilomètres de parcours. La part des usagers n'ayant effectué qu'une seule utilisation reste cependant non négligeable quelle que soit la distance parcourue (même très grande). Cette répartition indique une grande hétérogénéité dans les comportements des usagers.

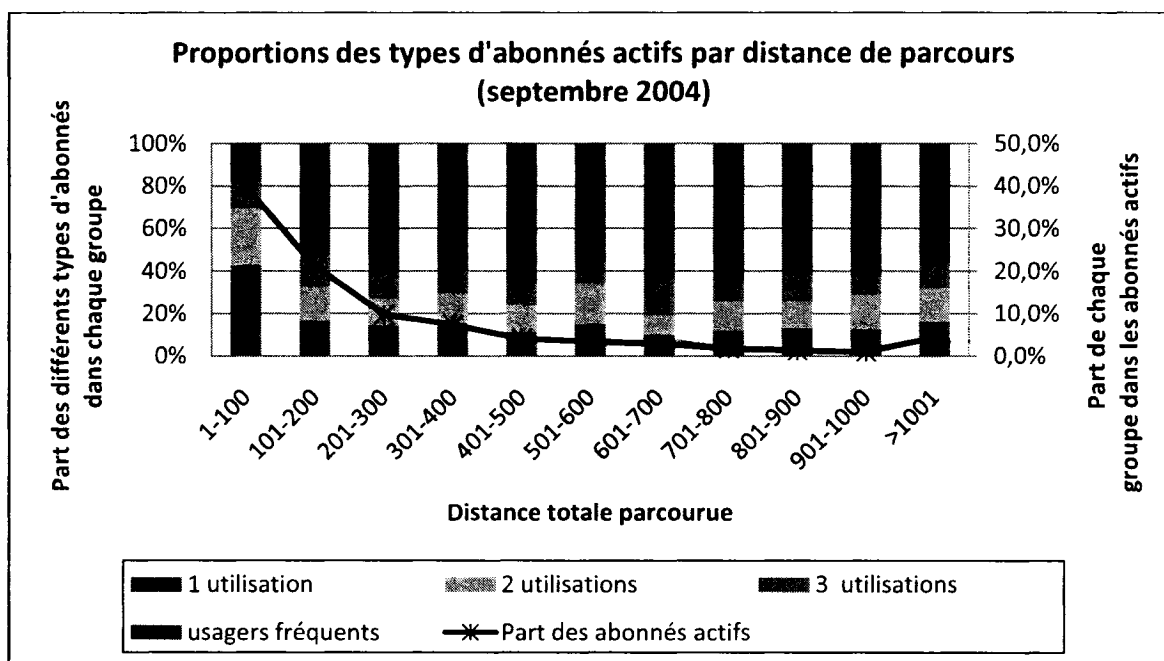


Figure 4-43 : Distribution et proportions des différents types d'abonnés par la distance totale de parcours (sept 2004)

A une échelle plus fine : pour les usagers ayant effectué entre 1 et 100 kilomètres, on observe cependant quelques fluctuations (Figure 4-44). On observe une forte proportion d'abonnés actifs (22.3%) ayant parcouru entre 11 et 50 kilomètres. La plus grande majorité de ces abonnés n'ont en fait utilisé le service qu'une seule fois durant le mois.

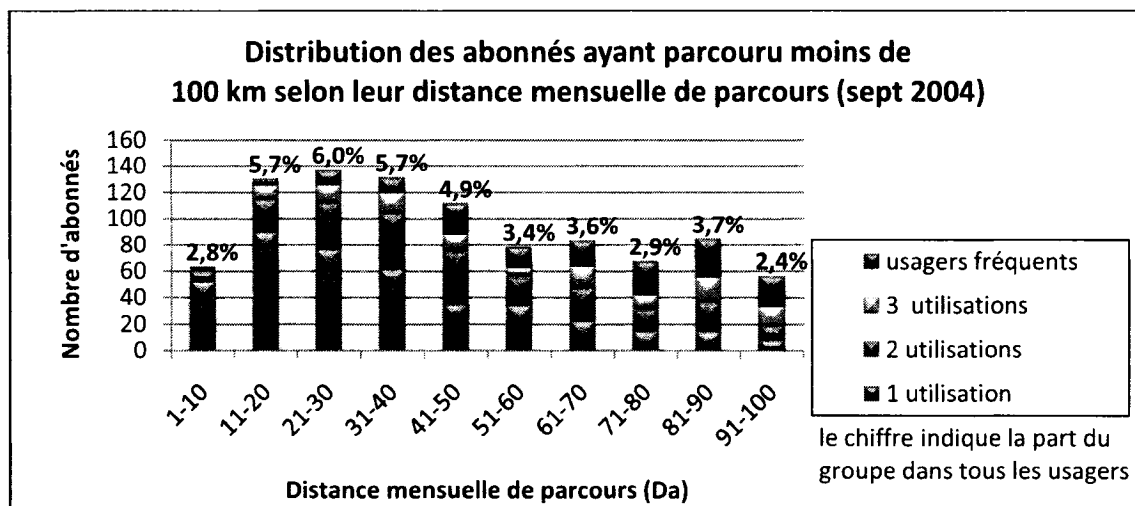


Figure 4-44 : Distribution des usagers actifs par distances parcourues (moins de 101 km)^c

En ce qui concerne la durée d'utilisation, on observe le même comportement général que pour les distances parcourues. Avec une moyenne proche de 89 heures d'utilisation par usager sur tout le mois avec un écart type de 46 heures. Le comportement est là encore très hétérogène. Les distributions sont similaires à celles représentées pour les distances de parcours totales (Figure 4-43).

4.6.4 Abonnés : choix des stations

Le choix de la station pour un abonné est à priori assez simple : il cherche, tel l'homo-économique qu'il est, à maximiser son utilité. Pour se faire il choisira la station la plus proche du lieu où il se trouve au moment d'utiliser le service. On fait l'hypothèse que pour chaque utilisation du service, l'abonné part de son domicile pour se rendre dans une station. La distance prise en compte pour faire cette analyse est donc la distance abonné-station (d_{a_s}) qui a déjà été examinée selon les stations (4.4.2.3). Même s'il cherche à

^c Le pourcentage indique la part du groupe dans les abonnés actifs

minimiser sa distance d'accès au service, l'abonné est confronté à une contrainte importante : la disponibilité de véhicule dans la station qu'il a choisi. Il va donc, le cas échéant, être contraint de modifier son choix afin d'accéder au service.

En septembre 2004, sur les 8 285 utilisations réalisées, 3 201 (soit 39%) l'ont été dans la station la plus proche du domicile de l'utilisateur. Cette indication est intéressante mais, comme on l'a vu, la distance n'est pas calculée sur le réseau mais orthogonalement. Les secteurs très denses en terme de stations offrent aux abonnés un éventail de choix n'engendrant que de très faibles différences de distance d'accès.

Pour observer la faculté des abonnés à choisir une station plus éloignée que celle qui est la plus proche de leur domicile on se base sur la distance minimale d'accès : $da_{s_{min}}$. La Figure 4-45 représente le pourcentage des utilisations en fonction de la distance d'accès basée sur la distance abonné-station minimale. Pour chaque abonné, on a déterminé la distance domicile-« station la plus proche » ($da_{s_{min}}$). On a ensuite calculé le nombre d'utilisations qu'il a effectué dans des stations situées dans un cercle de rayon variable centré sur son domicile. On a fait varier le rayon du cercle de $da_{s_{min}}$ à $2 * da_{s_{min}}$. La figure représente la somme de ces utilisations pour tous les abonnés en septembre 2004 en pourcentage.

Comme indiqué plus haut, 39% des utilisations sont effectuées à la station la plus proche du domicile, on observe une croissance fléchissant avec l'augmentation de la distance d'accès (la courbe s'apparente à un logarithme). Les abonnés sont néanmoins capables de parcourir de grandes distances relativement à leur distance minimale d'accès : 28% des distances abonné-station sont plus de trois fois plus importante que la distance domicile-station minimale.

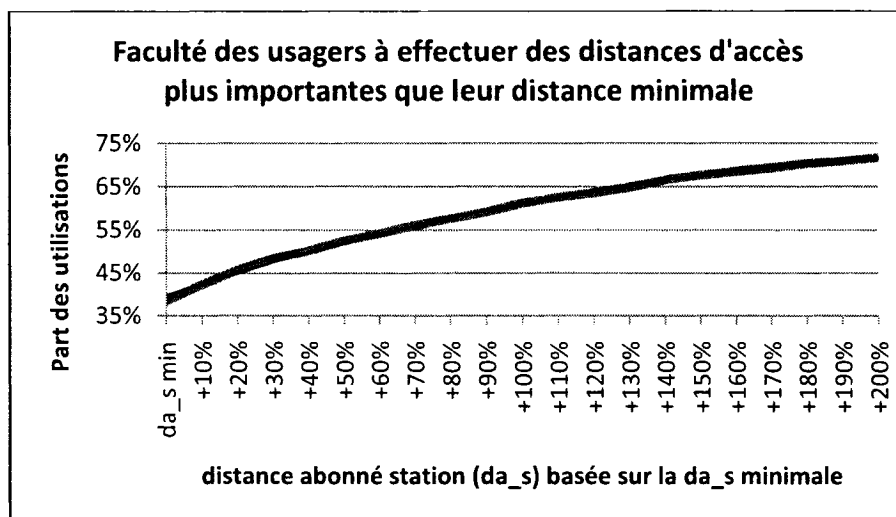


Figure 4-45 : Propension des abonnés à accéder au service dans une station plus éloignée que leur station la plus proche

Les abonnés actifs de septembre 2004 ont en moyenne utilisé 1.9 stations. Afin de mieux comprendre ce chiffre il faut tenir compte du fait que 32% d'entre eux n'ont effectué qu'une seule utilisation et n'ont donc pût utiliser qu'une seule station.

Pour évaluer la fidélité des abonnés vis-à-vis des stations, la Figure 4-46 représente, pour chaque abonné, le nombre de stations différentes utilisées en fonction du nombre total d'utilisations au cours du mois de septembre 2004. Les différents groupes représentés sont le résultat d'une segmentation fonction de la valeur de l'indicateur U/Sa. Cet indicateur représente le nombre moyen d'utilisations par station pour un abonné.

La très grande majorité (1 163) des abonnés ont utilisé une station différente à chacune de leurs utilisations. De manière générale, on observe que plus le nombre d'utilisations augmente, moins les usagers vont changer de stations. Seul un usager très fréquent (27 utilisations) possède un $U/Sa < 2$: Il a utilisé 14 stations différentes. On note que, même si la majorité des utilisateurs ont un $U/Sa=1$, une bonne partie d'entre eux cherche tout de même à utiliser le ou les mêmes stations. Cette fidélité est bien moins importante envers les véhicules (§4.6.5)

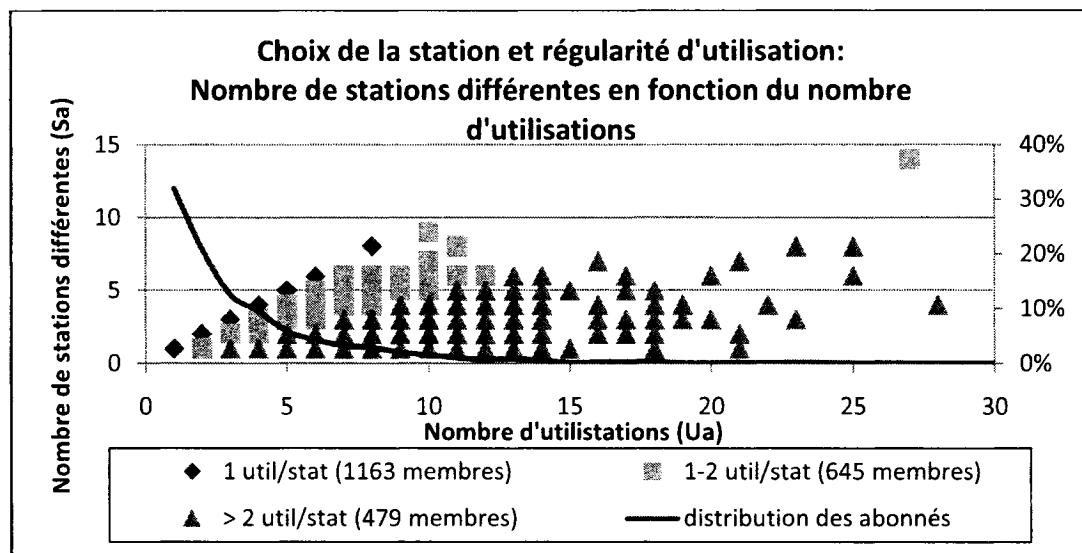


Figure 4-46 : Choix de la station et régularité d'utilisation : nombre de stations différentes en fonction du nombre d'utilisations (sept 2004)

Pour localiser les abonnés les plus fidèles à leurs station ($U/Sa > 2$), la Figure 4-47 les représente en fonction de la valeur de U/Sa . On remarque que les abonnés les plus fidèles sont, malgré la densité d'abonnés, situés dans l'arrondissement *Plateau Mont-Royal*. On remarque aussi la présence d'abonnés très fidèles dans des secteurs plus éloignés : dans ces secteurs le faible nombre de station tend à accentuer ce phénomène.

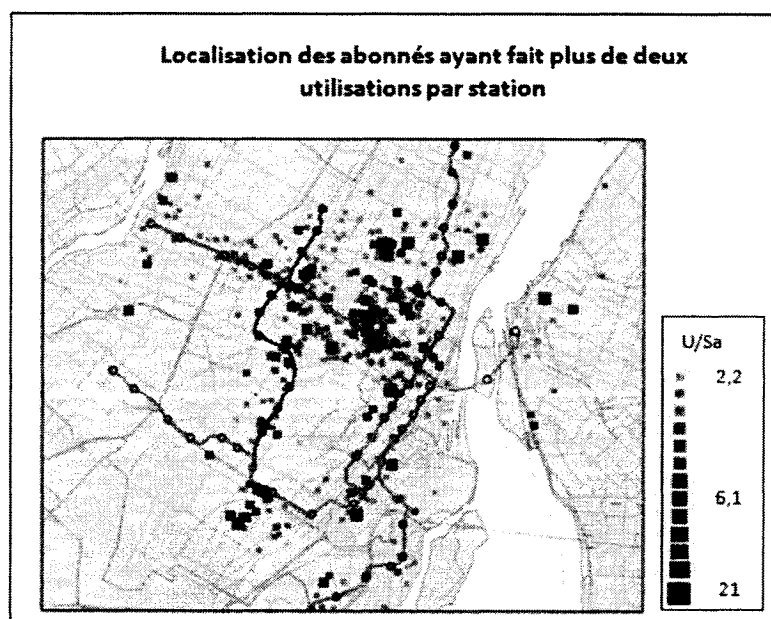


Figure 4-47 : Localisation des abonnés ayant fait plus de deux utilisations par station (sept 2004)

4.6.5 Abonnés : choix des véhicules

Les usagers, lors de la réservation peuvent, en plus de choisir la plage horaire et la station, choisir le véhicule qu'ils désirent (ce choix est toujours soumis aux disponibilités). Cette section cherche à déterminer si les usagers fréquents ont un choix de véhicule préférentiel. La disponibilité des véhicules n'est pas prise en compte et les données utilisées sont toujours celles du mois de septembre 2004.

La Figure 4-48 représente, pour chaque usager, le nombre de véhicules différents empruntés en fonction du nombre d'utilisations effectuées.

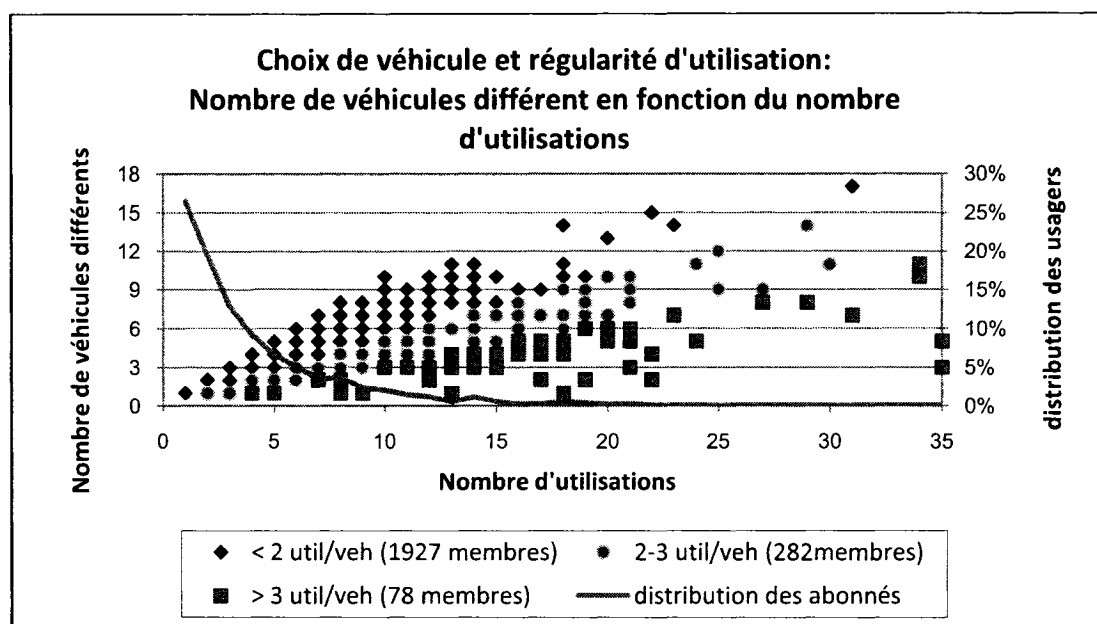


Figure 4-48 : Choix de véhicule et régularité d'utilisation: nombre de véhicules différent en fonction du nombre d'utilisations (sept 2004)

Les usagers sont représentés ici en fonction du ratio $\frac{\text{nombre_d'utilisations}}{\text{véhicules_empruntés}} = \frac{U_a}{V_a}$. Cet

indicateur mesure la propension des abonnés à choisir un même véhicule (à être fidèle). La distribution montre qu'avec plus de 84% des abonnés actifs (1 927 membres), les usagers les moins fidèles sont largement les plus nombreux. On note également que le fait de ne pas choisir souvent le même véhicule n'est pas toujours lié au fait d'utiliser peu le service. Certes, les usagers ayant utilisé le service plus de 30 fois sont très fidèles

mais il demeure des usagers ayant un $U/Va < 2$ qui ont utilisé le service plus de 25 fois. En outre on peut remarquer que les usagers de l'autopartage semblent plus attachés au choix de leur station qu'à celui de leur véhicule.

Il n'y a cependant pas une corrélation négligeable (0.63) entre le nombre d'utilisations et U/Va (voir Figure 4-49). Une fréquente utilisation du service implique donc généralement une fidélité importante. La figure ci-dessous montre malgré tout des discordances pour les utilisateurs les plus fréquents mais ceci est dû au faible volume de donnée pour ces taux d'utilisation.

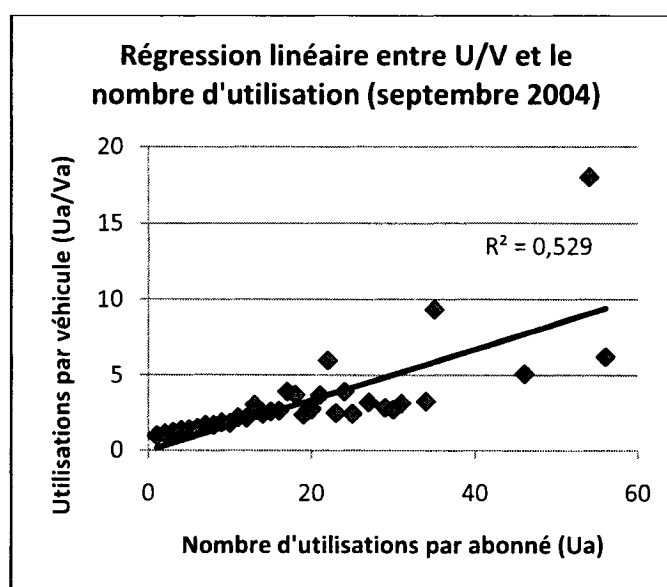


Figure 4-49 : Régression linéaire $U/Va - Ua$ (sept 2004)

La fidélité des usagers aux véhicules qu'ils utilisent ne semble donc pas être très importante, elle l'est néanmoins plus quand les usagers utilisent très fréquemment le service. Ceci peut en partie être expliqué par le processus de réservation qui propose directement à l'abonné le véhicule utilisé précédemment. Le fait que les véhicules préférés des usagers ne soient pas toujours disponibles influence forcément cette analyse et les usagers sont peut être plus attentifs à cet aspect que les chiffres le laissent paraître.

4.7 Synthèse

Cette étude transversale du système a permis d'une part, de caractériser les principaux traits du service, et d'autre part, d'en mesurer l'évolution.

Sur une période d'un mois, on constate que globalement, les utilisations suivent un cycle hebdomadaire. Le nombre d'utilisations augmente continuellement au cours d'une semaine. Outre le nombre, la structure des utilisations évolue aussi sur une semaine : durant les fins de semaines, les utilisations sont plus longues. Cette longueur entraîne une augmentation du volume d'utilisations au tarif inter-réseau. En effet, on constate que les utilisations au tarif inter-réseau, même si leurs nombre reste largement plus faible que celui des utilisations au tarif local croît fortement durant les fins de semaine. L'augmentation de la durée moyenne des utilisations entraîne également une hausse du taux d'utilisation du parc automobile.

Les stations sont situées principalement, comme les abonnés, dans les zones de l'agglomération où la densité de population est élevée. Les stations centrales offrent un potentiel d'attractivité plus important lié à la forte densité de membres dans ce secteur. Elles sont donc généralement plus utilisées que les stations périphériques du système. Par ailleurs, les stations attirant le plus d'abonnés différents sont plutôt situées à proximité du métro.

Les usagers sont globalement disposés à parcourir de longues distances pour accéder au service (2.7km en moyenne). Une grande partie des abonnés n'utilisent le service que très peu (une fois par mois). On a noté que plus les abonnés utilisaient le service, plus ils étaient fidèles aux stations qu'ils utilisent.

CHAPITRE 5 : ÉTUDE LONGITUDINALE DU SERVICE D'AUTOPARTAGE

5.1 Introduction

L'autopartage, comme on l'a vu, n'a cessé de croître au cours des dernières années. Mis à part cette croissance, les comportements et l'état du service sont restés globalement identiques au cours des mois de septembre successifs. Ce chapitre s'attache à étudier le service sur un plan longitudinal; on étudiera une période d'une durée d'au moins un an. Le principal problème auquel on est confronté pour de telles études est le caractère changeant des dimensions du service d'autopartage. Durant une année de service, le système croît globalement sur tous les plans : nombre de stations, de véhicules, d'abonnés et donc d'utilisations. Mais cette croissance est-elle constante durant toute l'année? Y-a-t'il des périodes plus creuses et des périodes de plus forte demande? Afin de répondre à ces questions on doit utiliser un niveau de résolution suffisamment fin pour détecter les variations. Les résolutions retenues pour la présente étude sont d'une part la semaine, et d'autre part le mois. Les quantités seront donc généralement exprimées en unité-semaine ou en unité-mois.

Ce chapitre est constitué d'une première partie regroupant des informations globales sur un an de fonctionnement. Il étudiera par la suite chacun des objets du système sur l'ensemble de l'année 2006 pour finir par une analyse de la persistance de l'activité des abonnés sur plusieurs années.

5.2 Analyse d'un an de fonctionnement

5.2.1 Indicateurs globaux

L'année choisie pour effectuer cette analyse est l'année 2006. Les transactions retenues sont telles qu'elles débutent entre le 1^{er} janvier 2006 et le 31 décembre 2006. Les réservations ayant débuté en 2005 et se finissant en 2006 sont donc exclues de l'analyse. Sur cette période, on recense 6 939 abonnés ayant effectué 229 310 réservations, 22,6% de ces réservations n'ont pas abouti : elles ont été annulées ou non utilisées. Les abonnés

ayant effectué ces réservations sont au nombre de 6 836, ils ont utilisé 431 véhicules répartis dans 121 stations. Le Tableau 5-1 regroupe les grands indicateurs sur l'année.

Sur un plan opérationnel, on remarque que les stations ont grossi par rapport aux années précédentes (voir Tableau 4-1) avec une capacité V_s moyenne de 4.1 véhicules. Le ratio abonnés par véhicule est lui aussi plus élevé 14 contre 10 en moyenne pour celui relevé lors des trois mois de septembre précédents. Ces différences peuvent indiquer, soit une croissance importante du système accompagnée d'une modification de politique de la part des opérateurs, soit une variabilité importante de ces indicateurs au cours d'une année de fonctionnement.

Sur la structure des utilisations (durées et distances), on ne remarque pas de grandes différences avec les valeurs relevées au cours des trois mois de septembre. On note cependant une augmentation de la durée moyenne des utilisations au tarif inter-réseau. Ceci est signe que ces utilisations doivent être plus longues durant certaines périodes de l'année que durant le mois de septembre.

Tableau 5-1 Indicateurs globaux sur l'année de service 2006

Indicateur	Valeur (avec toutes les réservations)
Nombre total de réservations	229 310
Nombre d'annulations ou non utilisations	52 001
Nombre d'utilisations	177 310
Nombre de membres différents	6 836 (6 929)
Nombre de véhicules différents	431 (433)
Nombre de stations différentes utilisées	121
Distance totale parcourue (Du en veh-km)	11 170 409
Durée totale des utilisations (Tu en veh-h)	1 636 621
Ratio Abonné/ véhicule (Rav)	14.03
Capacité des stations : ($V_{s_{moy}}$) en veh	4.07
Durée moyenne des utilisations (tu_{moy} en veh-h)	
tarif local	6.7
tarif inter-réseau	47.6
Distance moyenne des utilisations (du_{moy} en veh-km)	
tarif local	39.6
tarif inter-réseau	419.9

Le tarif associé à une transaction est lié à la durée de cette dernière. La première approche de l'évolution de l'utilisation choisie est la distribution des utilisations selon chaque tarif au cours de l'année. La Figure 5-1 représente ces deux distributions.

En moyenne, on a enregistré 208.8 utilisations au tarif inter-réseau par semaine et 3191.6 au tarif local. Les utilisations au tarif local sont donc largement plus nombreuses et c'est à des fins de lisibilité que les deux distributions sont basées sur une semaine moyenne. La valeur de chaque point représente donc une part relative de la semaine étudiée par rapport à la semaine moyenne : la valeur 1 pour chacune des distributions représenterait donc une semaine moyenne.

On remarque une hausse globale sur l'année pour les utilisations au tarif local. Mais la principale information indiquée par la Figure 5-1 est la différence importante entre l'allure des deux distributions. En effet, on note durant la période estivale une hausse des utilisations au tarif inter-réseau accompagnée d'une baisse de celles au tarif local. Le même phénomène est observé à la fin de l'année et ponctuellement au cours de l'année. Cette hausse des utilisations au tarif inter-réseau indique un changement important du motif d'utilisation du service par les usagers. Une telle différence de comportement doit engendrer également des différences d'ordre opérationnel (voir §5.2.2 et §5.2.3).

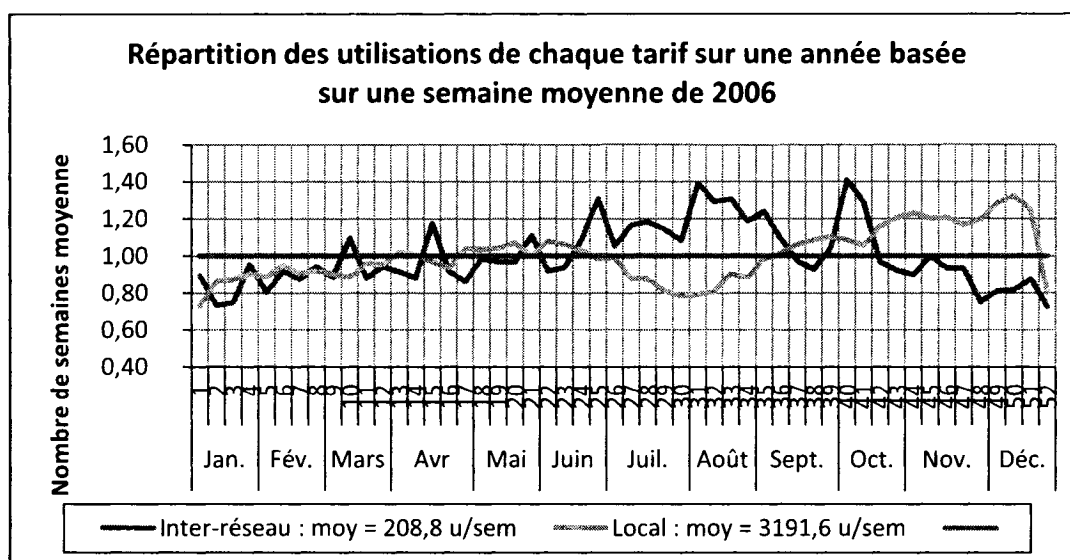


Figure 5-1 : Répartition des utilisations de chaque tarif sur une année basée sur une semaine moyenne de 2006

5.2.2 Les stations au cours de l'année 2006

Le nombre et les capacités des stations n'étant pas aussi variables que la quantité d'abonnés ou de véhicules actifs, la résolution choisie pour étudier ces derniers est le mois. On déterminera ainsi le nombre de stations et la capacité de chacune d'entre elles sur chaque mois. Il est utile de rappeler que la présence des stations ainsi que leur capacité sont basées sur des observations : on les détermine en fonction de leur activité lors des utilisations du mois considéré.

La Figure 5-2 représente l'évolution au cours de l'année 2006 de la capacité moyenne des stations et du nombre de stations. La capacité moyenne des stations est restée très stable au cours de l'année autour de 3.2 véhicules par station. On observe cependant que la capacité maximale a augmenté régulièrement au cours de l'année. Cette capacité maximale est en fait la capacité de la station *St Sacrement* qui est resté la plus importante station en termes de capacité au cours de l'année.

Le nombre de stations a lui augmenté de 17% au cours de l'année, passant de 103 en janvier à 121 stations utilisées en décembre 2006. La capacité des stations n'ayant pas diminué au cours de la même période, on peut en déduire que le nombre de véhicules à suivi la même croissance.

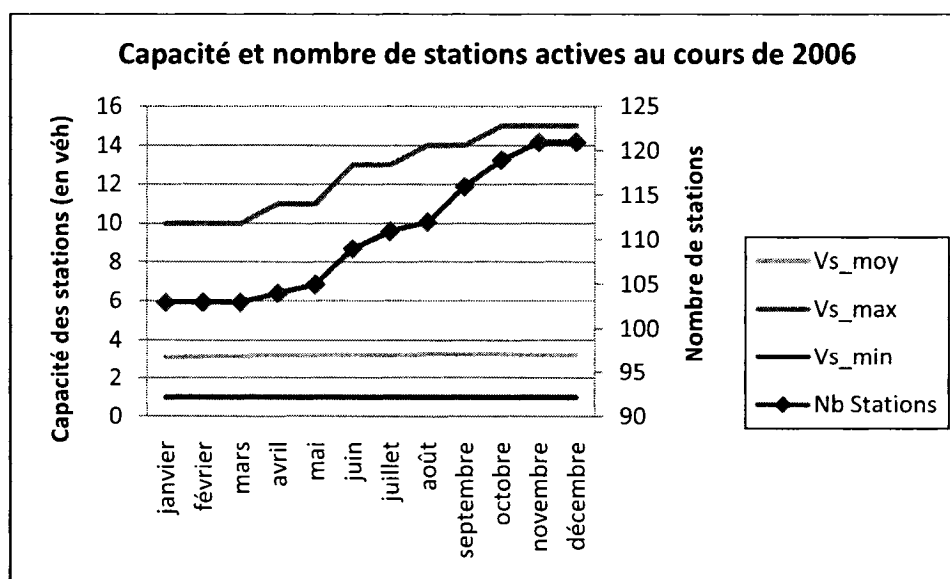


Figure 5-2 : Capacité et nombre de stations actives au cours de 2006

Pour observer le caractère expansif ou non du service, la Figure 5-3 représente la croissance numérique de la capacité des stations ainsi que leur position et leur date d'entrée en service au cours de l'année.

On note que 53 stations n'ont connu aucune croissance, les 68 autres ont connu des croissances variant de 1 à 6 véhicules pour la station *Henri-Julien et De Castelnau* indiquée sur la figure. On remarque globalement qu'en plus de densifier l'offre au centre du système, celle-ci s'est développée dans les périphéries proches du centre du système et fréquemment à proximité du métro.

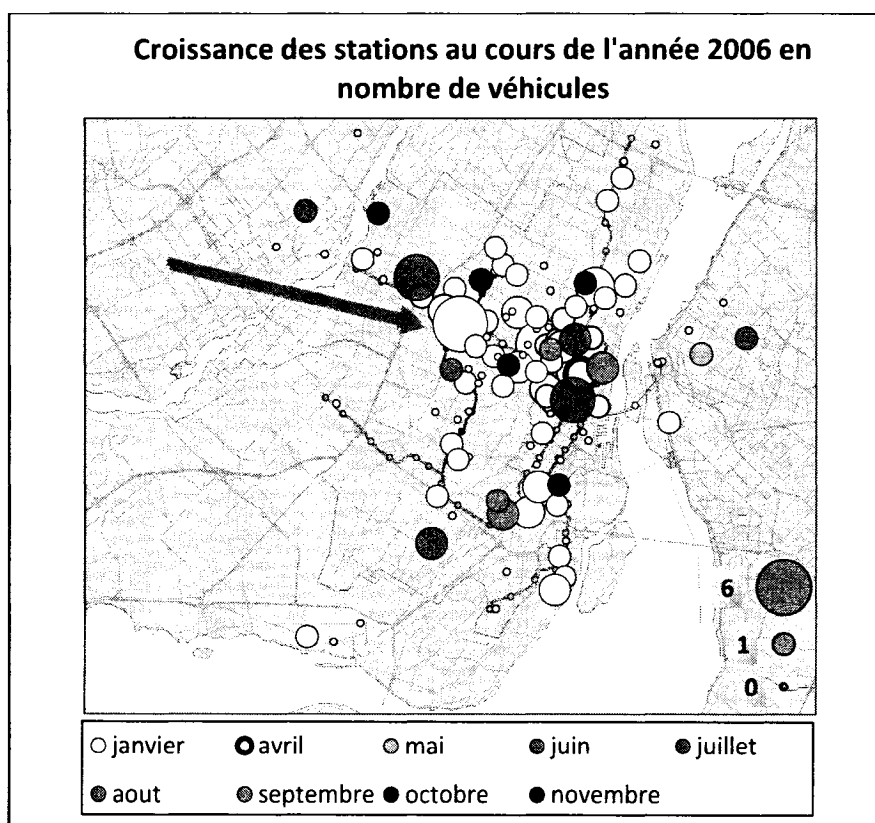


Figure 5-3 : Croissance des stations au cours de l'année 2006 en nombre de véhicules

La capacité des stations varie donc au cours d'une année et, même si la capacité moyenne ne varie pas énormément, les stations voient généralement leur propre capacité augmenter. De leur côté, les nouvelles stations, souvent de faibles capacités tendent à conserver cette capacité constante au cours de leurs premiers mois de fonctionnement.

La Figure 5-4 montre l'évolution de la capacité de quatre stations distinctes au cours de l'année 2006, elles ont toutes eu des évolutions différentes.

Les stations *Parc Ahuntsic* et *Rachel et Papineau* peuvent être regroupées dans le sens où elles ont toutes les deux une capacité équivalente en début en en fin d'année. Cependant, la station *Rachel et Papineau* est très particulière : sa capacité a varié fréquemment au cours de cette année et elle a même globalement diminuée. La station *Parc Ahuntsic* quant à elle n'a connu qu'une seule variation mensuelle : la perte d'un véhicule durant le mois de juillet. Ce type de diminution qui est corrigée par la suite peut être dû à une période d'entretien ou à un remplacement de véhicule. Cela pourrait également être dû à une utilisation d'une durée de plus d'un mois!!!

Pour leur part, les deux autres stations ont eu une évolution semblable : une croissance importante durant cette année. La station *Henri-Julien et De Castelnau* est la station ayant connu la plus forte croissance avec 6 nouveaux véhicules. Sa croissance s'est étalée tout au long de l'année. La station *Émery et Sanguinet* pour sa part, a également connu une croissance et a de plus, été créée lors de cette année. C'est la station ayant été créée en 2006 qui a la plus importante capacité en fin d'année avec quatre véhicules.

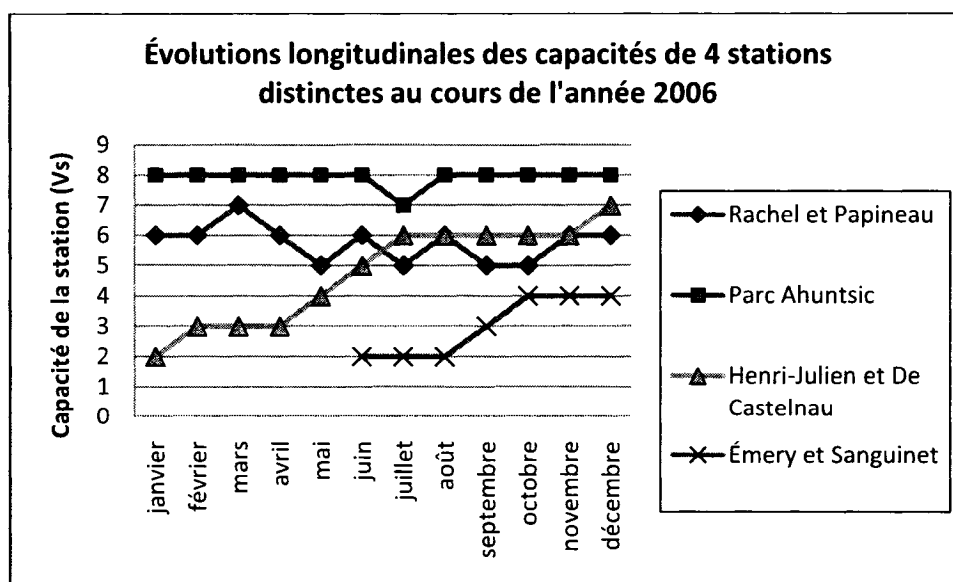


Figure 5-4 : Évolutions longitudinales des capacités de 4 stations distinctes au cours de l'année 2006

Si on opte pour une résolution temporelle basée sur le mois (unité de temps), cela permet généralement à la capacité d'une station de ne pas être influencée par la cessation temporaire d'activité d'un de ses véhicules (pour entretien ou autre). Concernant les véhicules, cette résolution n'est pas suffisante pour détecter ces périodes d'entretien. C'est pourquoi on utilisera une résolution d'une semaine pour étudier les véhicules.

5.2.3 Les véhicules au cours de l'année 2006

Au cours de l'année 2006, 431 véhicules différents ont été utilisés. Parmi eux, seuls 97 ont été utilisés toutes les semaines.

La Figure 5-5 montre la distribution des véhicules en fonction du nombre de semaines où ils ont été actifs au cours de l'année 2006. Une grande partie du parc a été utilisée durant presque toute l'année : 80% du parc a été utilisé plus de 45 semaines différentes. Les 20% restants constituent le parc nouvellement acquis au cours de l'année ou les véhicules ayant subi des périodes d'inactivité longues.

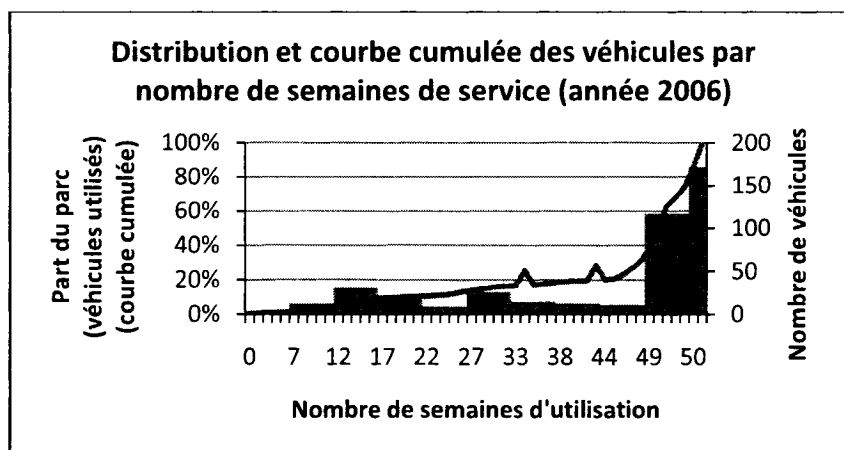


Figure 5-5 : Distribution et courbe cumulée des véhicules par nombre de semaines de service (année 2006)

En observant l'utilisation de ces véhicules de façon longitudinale sur l'année 2006, on remarque une augmentation régulière du nombre de véhicules disponibles (Figure 5-6). Cette croissance est le résultat de l'augmentation de l'offre observée au §5.2.1. On observe également une légère baisse du nombre de véhicules utilisés à la fin juillet. A

cette même période, le taux d'utilisation connaît un pic important. La baisse du nombre de véhicules utilisés est en fait le fruit du mode de calcul qui ne prend pas en compte les véhicules ayant été utilisé sur des périodes de plus d'une semaine.

Le taux d'utilisation (Γv) est calculé à partir des durées d'utilisation, il est basé ici sur 24 heures. Sur l'ensemble de l'année, ce taux d'utilisation s'établit à 54.2%. On voit que ce taux, s'il est calculé sur une base hebdomadaire varie de façon importante au cours de l'année. Deux hausses importantes sont observables : de mi-juin à fin août, avec un fort pic au 15 Juillet, et durant la deuxième moitié du mois de décembre. Ces périodes correspondent aux vacances de la construction et aux fêtes de fin d'année.

Comme sur une semaine où les taux d'utilisations sont plus élevés en fin de semaine que durant la semaine, sur une année, ce sont les périodes de vacances qui voient le taux d'utilisation augmenter.

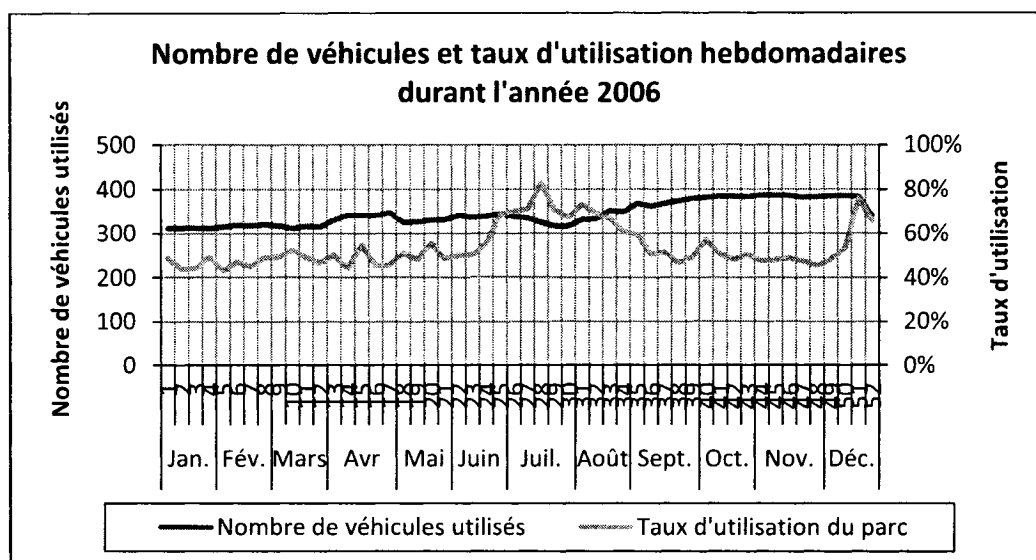


Figure 5-6 : Nombre de véhicules et taux d'utilisation hebdomadaires durant l'année 2006

Concernant l'utilisation des véhicules, outre le taux d'utilisation hebdomadaire basé sur la durée d'utilisation illustrée plus haut, la Figure 5-7 représente le nombre d'utilisations et la distance hebdomadaire moyenne.

Un véhicule de Communauto, durant l'année 2006, aura en moyenne été utilisé 514 fois et aura parcouru près de 32 500 km en 4 750 heures. Comme précédemment, les

périodes de vacances sont remarquables : durant celles-ci, les distances augmentent et les volumes diminuent. Hors période de vacances, le climat ne semble pas avoir une forte influence sur l'utilisation des véhicules : les volumes et distances d'utilisation sont très similaires sur les périodes s'étendant de Janvier à Juin et de Septembre à Novembre durant lesquelles le climat Montréalais varie beaucoup.

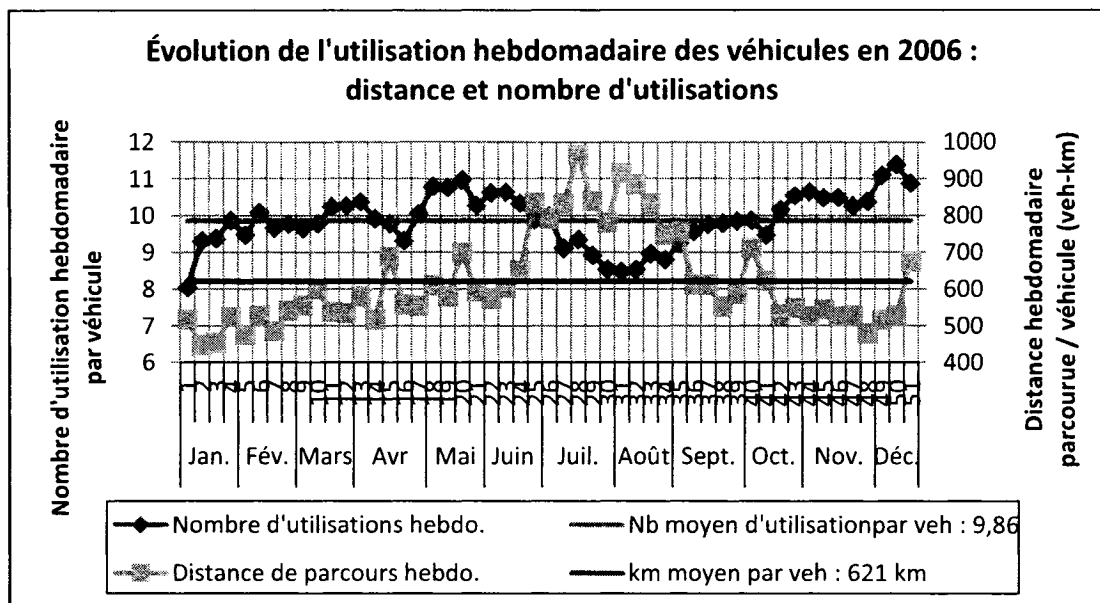


Figure 5-7 : Évolution de l'utilisation hebdomadaire des véhicules en 2006 : distance et nombre d'utilisations

5.2.4 Les usagers : leur comportement au cours de l'année 2006

Les abonnés du service ont fait le choix d'y adhérer pour diverses raisons et n'ont pas tous les mêmes attentes. Ils ont donc des comportements variés dans le système. Certains usagers n'utilisent que très peu le service et durant de courtes périodes là où d'autres sont de très gros consommateurs du service. Il est donc nécessaire, pour détecter et étudier chaque comportement distinct, d'adopter une résolution temporelle adaptée. Le choix a été fait d'utiliser la semaine et donc l'utilisateur-semaine comme unité de mesure de l'activité des usagers. Un abonné sera, sur une période longue, considéré comme potentiellement actif dès la première semaine où il aura effectué une utilisation durant la période d'étude. Il sera considéré comme potentiellement actif jusqu'à la fin de la période sauf s'il a décidé de quitter le service (résiliation du contrat visible dans les

données). Ainsi, sur un an, si un abonné a utilisé le service le 3 janvier, il offrira un potentiel de 52 abonnés-semaine.

Au cours de l'année 2006, les 6 836 usagers actifs ont effectué 177 310 utilisations. Suivant les hypothèses explicitées plus haut, chaque usager a donc en moyenne effectué près de 33 utilisations. La distribution des usagers en fonction du nombre d'utilisations effectuées ressemble à celle observée sur un mois : la très grande majorité n'a effectué que très peu d'utilisations. 25% abonnés actifs ont effectué 5 utilisations ou moins et seuls 14% d'entre eux ont utilisé le service plus de 50 fois durant l'année 2006.

Sur une base hebdomadaire, les usagers qui ont été actifs en 2006 ont parcouru environ 2000km/an à bord d'un véhicule d'autopartage. Ils ont utilisé le service 33 fois et pour une durée totale de 300 heures/an.

Concernant les caractéristiques des utilisations de chaque abonné, on remarque une énorme variabilité : l'usager qui a le plus utilisé le service a effectué plus de 30 000km durant 3 850 heures à bord de véhicules de Communauto. Il est à noter que le numéro de cet abonné correspond à un compte corporatif. Il est donc probable que plusieurs personnes aient utilisé ce compte. Cependant d'autres usagers ont eu des volumes d'utilisations très importants sans pour autant correspondre à des comptes corporatifs.

La Figure 5-8 représente l'évolution du nombre d'utilisations et de la distance parcourue par les abonnés actifs au cours de l'année 2006 sur une base hebdomadaire. Elle fait apparaître le même phénomène que pour les véhicules : au cours de la période estivale le nombre d'utilisations a baissé mais les distances de parcours ont largement augmenté. On peut donc encore une fois estimer que le motif de l'utilisation du service durant cette période est généralement différent de celui motivant les utilisations des mois de travail (de l'automne au printemps).

Il existe cependant une différence entre les courbes concernant les usagers (Figure 5-8) et celles des véhicules (Figure 5-7). On remarque en effet que le nombre d'utilisations hebdomadaires des véhicules est généralement plus important en fin d'année que durant les premiers mois. On observe effectivement une augmentation du nombre moyen

d'utilisations par semaine. Pour les usagers cette augmentation n'est pas apparente, on observe plutôt une diminution de la quantité d'utilisations par usager après la période estivale. Cette différence s'explique d'une part par le mode de calcul qui engendre une augmentation constante du nombre d'abonné actifs au cours de l'année (un usager actif au début de l'année est toujours pris en compte dans les calculs des semaines de décembre), alors que les véhicules pris en comptes à chaque semaine sont uniquement ceux qui étaient actifs lors de cette semaine. La différence s'explique d'autre part par l'augmentation plus importante du nombre d'abonnés actifs que du nombre de véhicules en service.

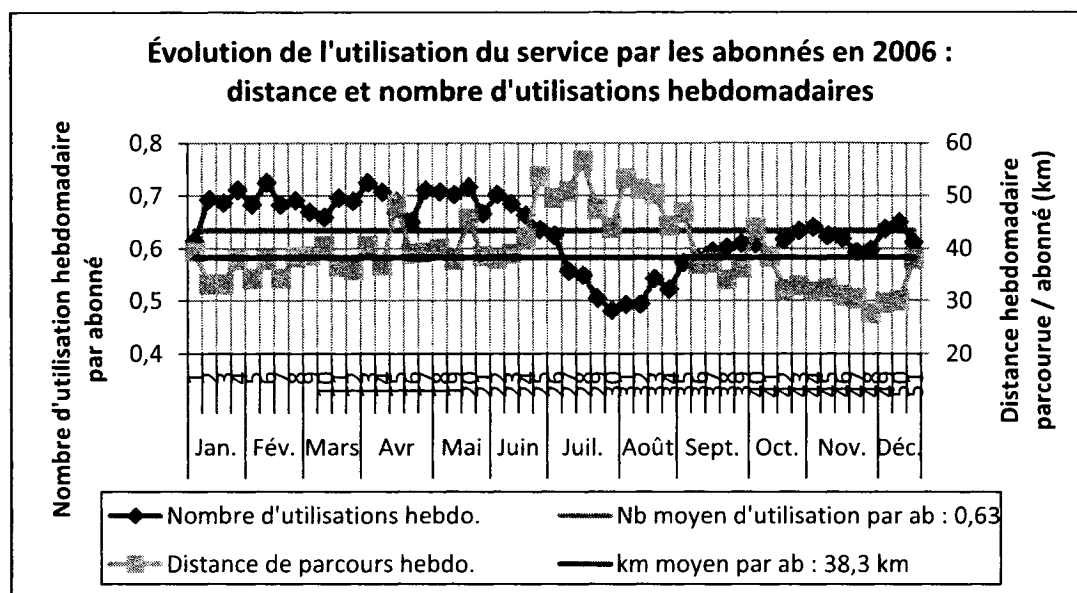


Figure 5-8 : Évolution de l'utilisation du service par les abonnés en 2006 : distance et nombre d'utilisations hebdomadaires

Afin de déterminer si les usagers changent individuellement de comportement durant les mois de juillet et d'août ou si ce sont d'autres usagers qui utilisent le service sur cette période, l'étude suivante vise à repérer l'activité des abonnés sur une longue période.

5.2.5 Les usagers : persistance d'activité

Dans cette section, on cherche à suivre les usagers sur de longues périodes. Pour ce faire on utilisera plusieurs résolutions temporelles : la semaine et le mois. Sur la période

étudiée, on affecte à chaque usager un attribut permettant de repérer dans quelles subdivisions temporelles il a été actif et un autre permettant de repérer à laquelle de ces subdivisions il a été observé pour la première fois. On peut donc regrouper les usagers en fonction de leur date d'entrée dans le système et observer l'activité de chaque groupe sur une longue période.

5.2.5.1 Activité des usagers sur l'année 2006

Pour cette étude de l'activité des usagers sur une année, on choisi de faire une étude hebdomadaire afin de déterminer précisément s'il existe des différences de « clientèle » durant l'année.

La Figure 5-9 représente sur une base hebdomadaire, l'activité (en nombre d'abonnés actifs) des usagers sur l'année 2006. Chaque groupe représente les abonnés qui ont été observés pour la première fois au cours de la même semaine. On remarque que la baisse du nombre d'utilisations par abonné observées sur la Figure 5-8 est accompagnée par une baisse du nombre d'usagers actifs. Cette baisse est le fait des utilisateurs actifs lors des mois précédents (depuis le mois de janvier). En effet, on ne remarque pas de baisse importante du nombre d'abonnés nouvellement actifs dans cette période. Ce sont en fait les abonnés ayant été actifs lors des mois précédents qui cessent d'utiliser le service. Une partie d'entre eux recommencent ensuite à utiliser le service en septembre.

La courbe représentant le nombre d'abonnés nouvellement actifs chaque semaine ne comporte pas de point lors des 6 premières semaines. Durant ces semaines la valeur était très élevée (>200). Ces valeurs très importantes enregistrées durant les trois premiers mois sont dues aux membres ayant rejoint le service avant le 1^{er} Janvier mais n'étant que très peu actifs. Leur première apparition est donc enregistrée durant le premier trimestre. Ce grand nombre d'abonnés nouvellement actifs durant le premier trimestre vis-à-vis des mois suivants n'est donc pas le fait d'une baisse du nombre d'adhésions durant l'année. L'influence des « anciens » abonnés se fait même ressentir tout au long de l'année même si elle est moindre à partir du mois d'avril.

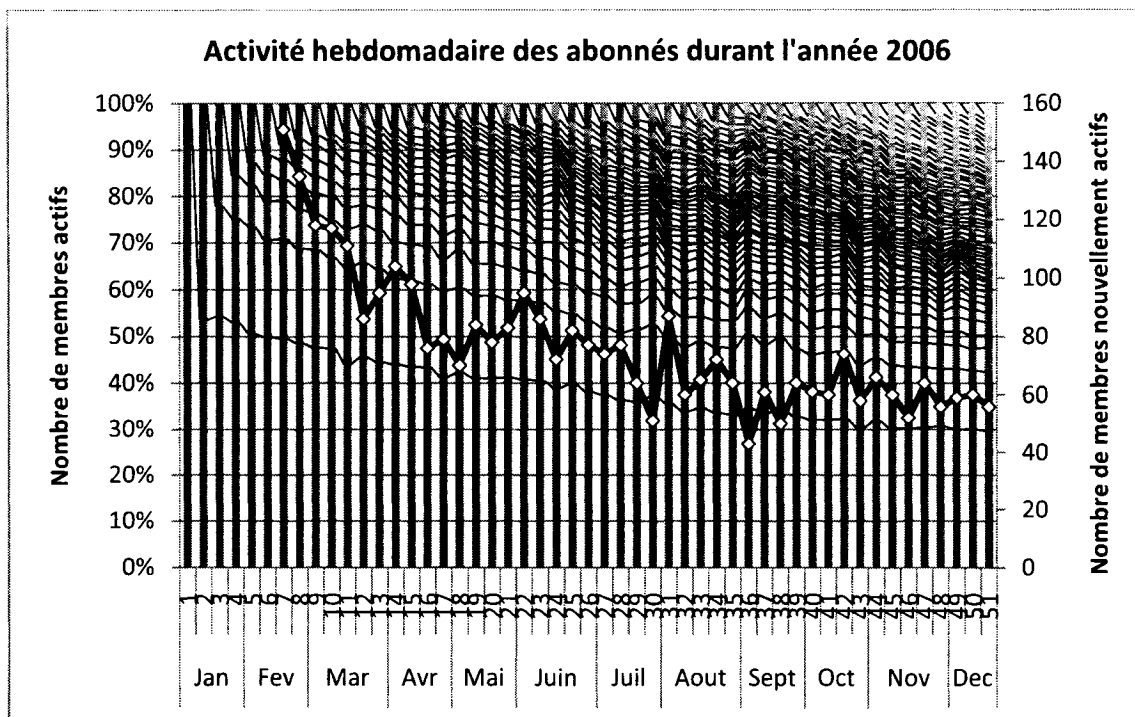


Figure 5-9 : Activité hebdomadaire des abonnés durant l'année 2006

5.2.5.2 Activité des usagers sur plusieurs années

Afin de mesurer l'évolution de la demande sur le système au cours de deux années consécutives, la même méthode que précédemment a été utilisée sur une base mensuelle (Figure 5-10). On peut ainsi suivre l'activité des abonnés ayant été enregistrés pour la première fois au cours d'un mois au fil des mois suivants. Comme pour l'année 2006 on note une très importante quantité d'abonnés enregistrés pour la première fois durant le premier mois d'étude. Ces abonnés étaient, dans leur grande majorité déjà actifs et présents dans le système au cours de l'année précédente, ce ne sont pas de « nouveaux » membres. Au cours des mois suivants, on peut considérer que les abonnés apparaissant dans le suivi sont majoritairement de « nouveaux » membres.

La tendance la plus importante observée sur la Figure 5-10 est l'augmentation quasi continue du nombre de membres actifs différents au cours des mois. Même lorsque celui-ci diminue, ce n'est que d'une très faible quantité (juillet 2005...). Ces baisses semblent négligeables puisqu'elles ne se représentent pas d'une année sur l'autre.

On remarque une nouvelle fois qu'une part des abonnés actifs durant la première partie de l'année et qui ne le sont plus lors de la période estivale réapparaissent dans le système pour la rentrée. Les barres de suivi qui descendaient avant l'été remontent en effet entre septembre et octobre (surtout en 2005). Ce phénomène est également observable pour la période des fêtes de fin d'année avec une inversion de tendance à partir de février 2006.

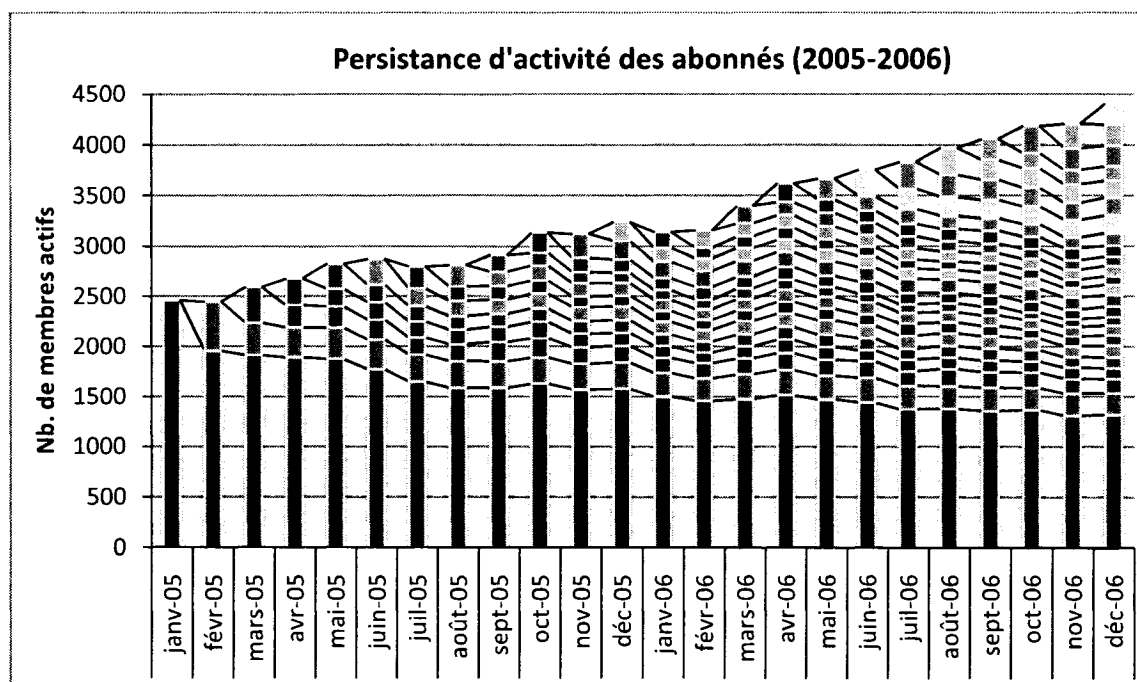


Figure 5-10 : Persistance d'activité des abonnés (2005-2006)

Les données exploitées dans le graphique ci-dessus permettent également de mesurer le taux de persistance d'activité des membres dans le système ($\Gamma pa_{x/m}$). Ce taux mesure la part des membres entrés dans le système lors d'un mois qui sont toujours actifs à différentes échéances.

Après un mois dans le système, on mesure suivant le mois d'entrée dans le système entre 61% et 86% de persistance d'activité avec une moyenne de 73%. En moyenne, 73% des abonnés entrés dans le système lors d'un mois sont encore actifs le mois suivant.

La Figure 5-11 représente ce taux au cours des mois pour les abonnés ayant été observés entre janvier 2005 et décembre 2006. L'allure générale de ces courbes semble être

proche d'une exponentielle négative. En moyenne on observe un taux de persistance d'activité de 57% après six mois et de 50% après un an.

En observant avec plus de minutie la figure, on observe une meilleure persistance d'activité en 2006 qu'en 2005. En effet, après un mois le taux s'établit en moyenne à 76% pour les usagers entrés en 2006 contre 69% pour ceux entrés en 2005. À plus long terme, après 6 mois dans le système, ces taux sont en moyenne de 60% pour 2006 et de 56% pour les abonnés entrés en 2005.

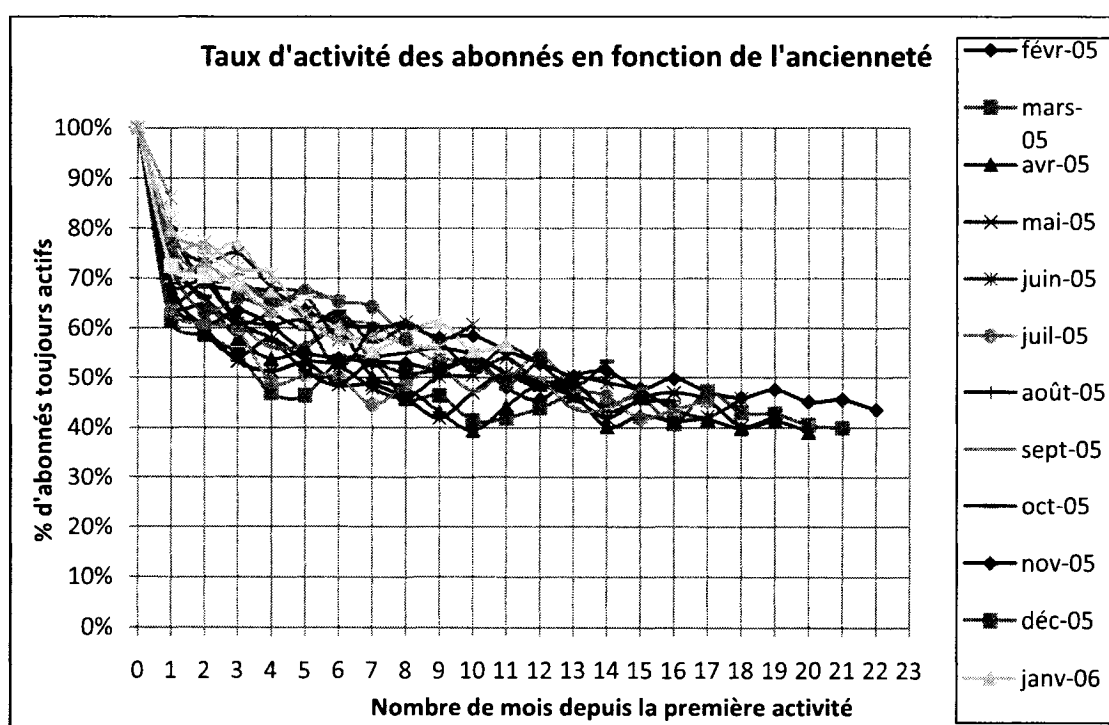


Figure 5-11 : Taux d'activité des abonnés en fonction de l'ancienneté (2005 - 2006)

5.3 Conclusion

Sur une longue période d'observation, on remarque une nouvelle fois la croissance du service d'autopartage. Les stations voient leur propre capacité ainsi que leur nombre augmenter au cours de l'année 2006. Cette croissance de l'offre se décompose donc spatialement d'une part en une densification des zones déjà desservies, et d'autre part en un élargissement de l'offre à de nouveaux secteurs. La demande a elle aussi connu une croissance au cours de l'année.

Les principales variations d'utilisation observées au cours d'une année sont liées aux périodes de vacances. Durant ces périodes (été et fin d'année), les utilisations de longue durée (au tarif inter-réseau) connaissent une forte augmentation et les autres une forte diminution. Cette augmentation entraîne une sollicitation accrue du parc automobile du fait de l'augmentation de la durée moyenne des utilisations. Concernant les utilisateurs seule une faible part de clientèle semble utiliser le service exclusivement durant ces périodes.

Une étude sur une période longue (2005 et 2006) a permis d'estimer la persistance d'activité des usagers dans le système. Les abonnés semblent, en générale satisfaits du service puisqu'après un an dans le système, 50% d'entre eux utilisent toujours l'autopartage.

CHAPITRE 6 : SONDAGE COMMUNAUTO 2004 ET ENQUÊTE ORIGINE-DESTINATION : ÉTUDE D'UN QUARTIER

L'opérateur d'autopartage montréalais Communauto a réalisé en septembre 2004 un sondage auprès des membres du service. Ce sondage portait sur la perception que les usagers avaient du service, ainsi que sur des caractéristiques propres de chacun d'eux et de leur ménage. Il permet donc de dresser le portrait des usagers et de leurs ménages au travers d'indicateurs tels que la motorisation, le revenu du ménage ou encore la taille du ménage. En 2003, comme tous les cinq ans depuis des décennies, les collectivités territoriales de la grande région de Montréal (Agence Métropolitaine de Transport et sociétés de transport) ont pour leur part, mené une grande enquête origine-destination auprès de 70 400 ménages visant à faire le portrait de la mobilité dans la région. En plus des informations portant sur la mobilité des habitants, cette enquête recueille des informations sur les personnes et les ménages enquêtés. Une partie des informations recueillies dans cette enquête sont identiques à celles recueillies dans le sondage. Cette section cherche à faire un rapprochement entre le sondage de 2004 et l'enquête de 2003.

6.1 Méthodologie

Plusieurs problèmes importants sont à résoudre si l'on veut rapprocher les résultats de ces deux enquêtes.

Tout d'abord la majorité des indicateurs mesurés par ces deux entités ne sont pas du même ordre, pour ceux-ci, aucun rapprochement n'est possible.

Ensuite, pour les indicateurs mesurés qui correspondent, ils sont souvent de nature similaire mais la méthode de mesure diffère (par exemple, pour les revenus des ménages, les tranches salariales ne sont pas les mêmes)

Enfin, comme ces deux enquêtes ont déjà été étudiées et les résultats publiés, le principal but de la présente étude est de comparer la population montréalaise à la fraction de cette population qui utilise le service d'autopartage. Le service d'autopartage n'étant pas disponible sur tout le territoire visé par l'enquête origine-destination (O-D), il est

nécessaire de restreindre la zone d'observation. Outre le problème de la disponibilité du service, la restriction de la zone d'étude permet de positionner plus précisément les usagers de l'autopartage dans la population. Dans l'esprit de satisfaire ces contraintes il a été décidé d'étudier la zone qui regroupe le plus d'usagers de l'autopartage : l'arrondissement du *Plateau Mont-Royal*.

Malheureusement, les données de l'enquête origine-destination et celles du sondage ne sont pas basées sur le même découpage territorial (secteur de recensement pour l'un et région de tri d'acheminement du courrier pour l'autre). Malgré leurs différences, ces deux découpages territoriaux ont permis de trouver quelques correspondances dans l'arrondissement sélectionné. Ainsi la zone de l'étude menée ici se restreint à trois régions de tri d'acheminement mitoyennes regroupant environ 25 500 ménages et 43 900 personnes. Dans cette région, on a compté 172 formulaires de réponse au sondage de Communauto remplis et retournés. Il est à noter qu'il est impossible de déterminer la représentativité de ces données. En effet, le nombre total d'abonnés habitant dans la zone étudiée durant la période du sondage ne peut être connue précisément. Le nombre d'abonnés dans ce secteur est d'autant plus difficile à retrouver que l'arrondissement où il est situé voit sa population se renouveler très souvent (très forte mobilité, voir §6.2).

Les résultats présentés dans la suite du chapitre sont donc basés sur les données de l'enquête O-D relatives à la région sélectionnée et sur les données extraites des 172 formulaires remplis par les membres de Communauto résidants dans ce secteur lors du sondage.

6.2 Le Plateau Mont-Royal dans la région de Montréal

Le secteur sélectionné pour l'étude est donc situé dans l'arrondissement *Plateau Mont-Royal*, ce quartier est l'un des mieux desservi par l'autopartage et regroupe des caractéristiques qui le différencient franchement de la majorité des autres arrondissements montréalais. Selon le recensement 2006, le plateau mont-royal est l'arrondissement le plus jeune de l'agglomération avec un âge médian de 34.4 ans pour une moyenne de 39.2 ans sur l'île de Montréal (Direction de la planification du

développement du territoire, 2007). C'est également l'un des arrondissements où la mobilité est la plus élevée de la région avec 23% de la population ayant déménagé en 2003 et plus de 60% entre 1998 et 2003 (Observatoire économique et urbain, 2004). En plus de la jeunesse et de la mobilité qui caractérisent le plateau Mont-Royal, ce dernier est un des quartiers les plus denses de Montréal avec près de 12 000 hab/km² en 2003 contre 3 600 hab/km² pour l'île. La densité de ce quartier, combinée à un fort pouvoir attractif (culturel), conduisent cet arrondissement à faire partie de ceux où la motorisation est la plus faible à cause du manque d'espace, elle était de 0,61 véh/ménage en 2003 contre 0,93 pour l'île de Montréal (AMT, MADITUC, & al, 2003). Outre ces caractéristiques, la situation géographique du Plateau Mont-Royal (proche du centre-ville) lui permet de bénéficier d'une bonne couverture de transport en commun puisqu'une ligne de métro ainsi qu'une multitude de lignes d'autobus le traversent.

Le Plateau Mont-Royal regroupe donc presque la totalité des caractéristiques favorisant l'implantation d'un service d'autopartage et c'est donc logiquement que les opérateurs aient choisi ce dernier comme berceau du service d'autopartage montréalais.

6.3 Comparaison usagers – population

Cette section a pour but de cibler la population qui utilise le service d'autopartage dans la population d'un quartier qui est intrinsèquement favorable à l'usage de ce service (voir 6.2). Le secteur étudié regroupe trois régions de tri d'acheminement mitoyennes regroupant environ 25 500 ménages et 43 900 personnes. On rappelle que la comparaison faite dans cette section utilise les données de population provenant de l'enquête O-D 2003 et celles provenant du sondage de 2004 mené auprès des usagers du service d'autopartage (172 enregistrements).

Afin de cibler cette catégorie de population, les comparaisons seront tout d'abord démographiques et culturelles (âge, sexe, langue et taille des ménages) puis plus socioprofessionnelles (statut, motorisation et revenu)

La Figure 6-1 montre les courbes démographiques de la population globale de la zone étudiée et des abonnés de Communauto. Une telle représentation est disponible pour

l'ensemble de l'Île de Montréal (Figure 4-39 §4.6.1). Celle proposée ici est sensiblement différente : la population locale ressemble plus à celle des usagers du service. Sur ce secteur la population est plus jeune que sur l'île (38,4 ans en moyenne) et celle des usagers de Communauto est sensiblement identique à l'ensemble des abonnés de Communauto de la région. La répartition hommes-femmes est au contraire très différente : la population est relativement équilibrée (49,2% d'hommes) alors que celle des abonnés est très déséquilibrée : moins de 43% d'hommes. Les femmes utilisent donc plus l'autopartage que les hommes.

Concernant les tranches d'âge, on note que les femmes utilisent l'autopartage de 25 à 50 ans de façon quasi uniforme alors que du côté des hommes, ce sont surtout les 35-45 qui utilisent le service. La répartition des femmes abonnées suit relativement bien celles des habitantes alors que pour les hommes, les distributions sont très différentes. Il est important de noter que dans ce secteur, les usagers de l'autopartage ne sont pas plus jeunes que les habitants alors que sur la population totale de l'île ce caractère est clairement visible. La structure démographique du secteur semble être un des facteurs à l'origine du succès de l'autopartage dans ce secteur.

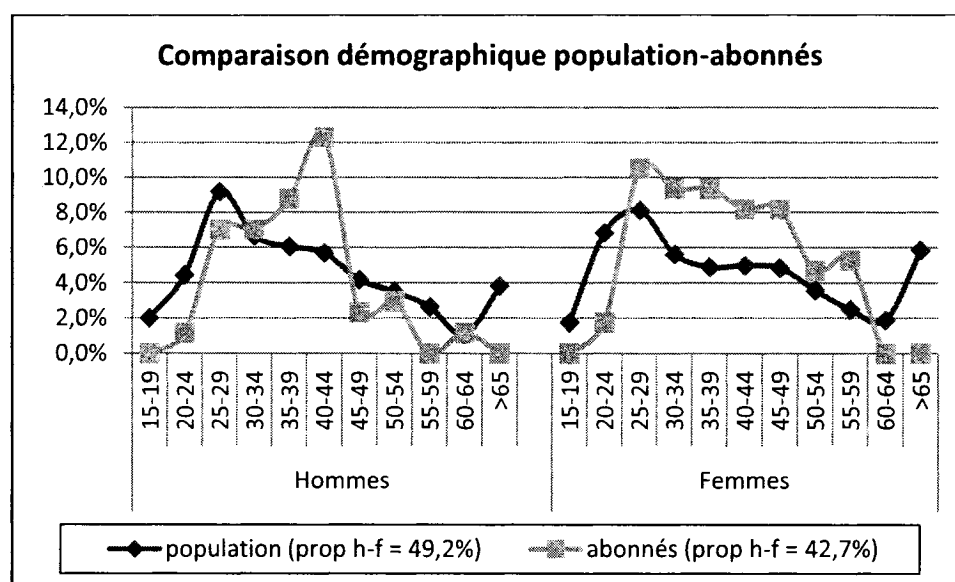


Figure 6-1 : Comparaison démographique population-abonnés

Montréal a la particularité d'abriter des personnes parlant une multitude de langues. Deux communautés sont néanmoins prédominantes : celles qui parlent les deux langues officielles du pays : l'anglais et le français. La Figure 6-2 représente les distributions de la population et des abonnés selon la langue parlée. On remarque que le secteur étudié est très largement francophone avec plus de 93% de la population. Les usagers de l'autopartage dans ce secteur sont encore plus francophones avec près de 95% de la population. La différence n'est cependant pas très marquée et on peut considérer que ce facteur n'est pas prépondérant quant à l'usage du service dans ce secteur.

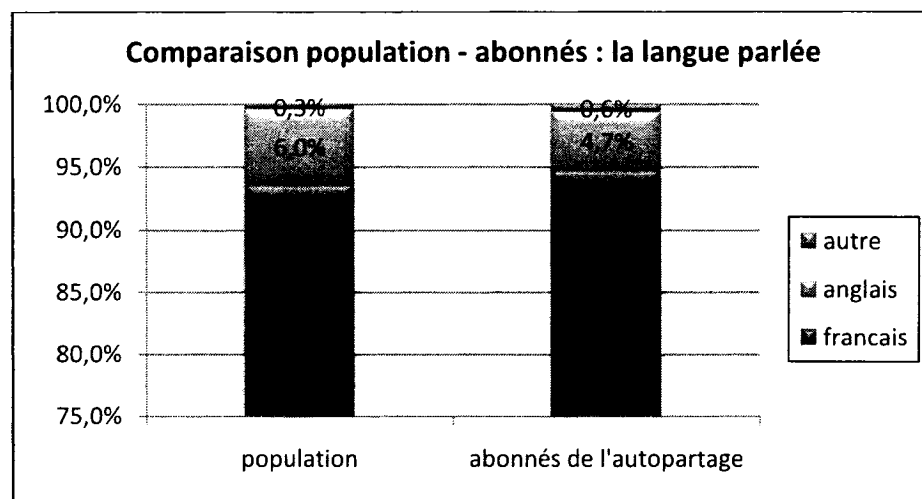


Figure 6-2 : Comparaison population - abonnés : la langue parlée

Concernant la taille des ménages (Figure 6-3), la population du secteur comporte 29% de personnes vivants seules. La part de la population monte à 40% pour les ménages de deux personnes puis, plus les ménages sont gros, plus la part de la population est faible : 11% de la population vit dans un ménage de quatre personnes et plus. Les abonnés du service d'autopartage montréalais sont, sur ce secteur, répartis de manière similaire à la population : les ménages les plus représentés sont composés de deux personnes suivis de près par les ménages d'une seule personne qui regroupent 31% des abonnés. La différence la plus importante et non négligeable est la forte partie des abonnés (13%) qui vivent dans des ménages comportant cinq personnes alors que ces ménages ne regroupent que 2% de la population. Ce phénomène n'est de plus pas isolé : 23% des

abonnés vivent dans des ménages de quatre personnes et plus (contre 11% pour la population).

Les abonnés sont donc plutôt des membres de grands ménages (> 4 personnes) ou vivent tout seul. Il est à noter par ailleurs qu'il n'y a pas, chez les usagers du service d'autopartage, de corrélation claire entre le nombre de personnes dans le ménage et le nombre de véhicules dans celui-ci.

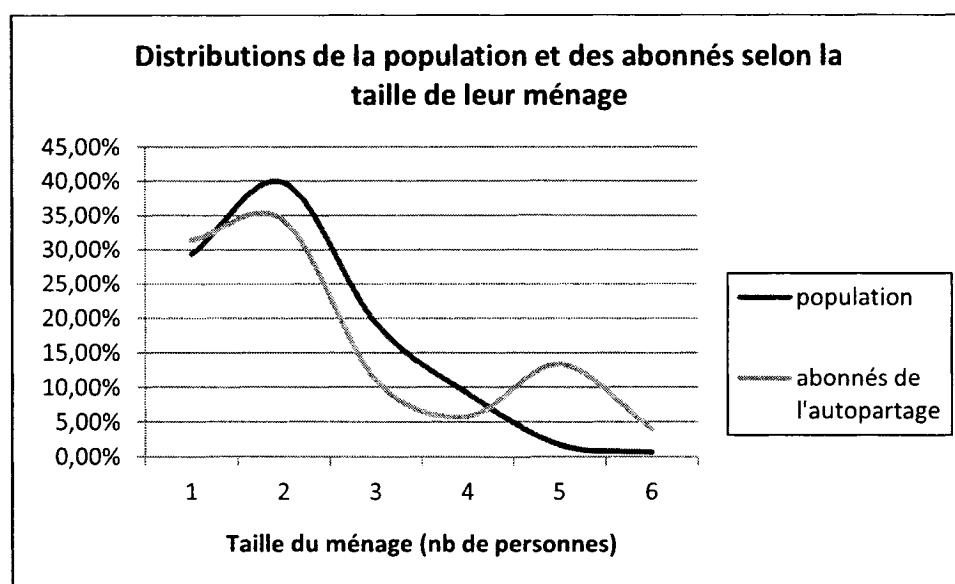


Figure 6-3 : Distributions de la population et des abonnés selon la taille de leur ménage

La motorisation des ménages est un indicateur très important pour évaluer l'efficacité du service d'autopartage. En effet, les autorités locales qui soutiennent généralement les alternatives à l'usage de l'automobile individuelle afin de limiter la croissance du trafic routier et son impact sur l'environnement, cherchent avant tout à inciter les citoyens à renoncer à la possession d'une automobile. L'autopartage se présente ainsi dans cette catégorie de moyens de transport alternatifs. La possession automobile de ses utilisateurs est donc intéressante à étudier.

La Figure 6-4 montre les répartitions des usagers et de la population du secteur en fonction du nombre d'automobiles dans leur ménage. Ce secteur étant situé dans une zone très dense, la motorisation est plutôt faible (0,7 auto/ménage). On remarque que

41% de la population du secteur n'ont accès à aucun véhicule privé dans leur ménage. Cette part déjà importante est très faible par rapport à la part des abonnés au service qui n'ont aucun véhicule : 88%. 12% des abonnés utilisent donc le service afin de se procurer occasionnellement un second véhicule.

Les usagers du service sont donc très largement moins motorisés que la population du quartier. Le fait d'utiliser ce service a donc un impact important sur la possession automobile. Cette constatation ne peut cependant pas indiquer clairement si c'est lors de l'adhésion des membres au service qu'ils se sont séparés de leur véhicule ou si cette adhésion leur a permis d'accéder à un véhicule.

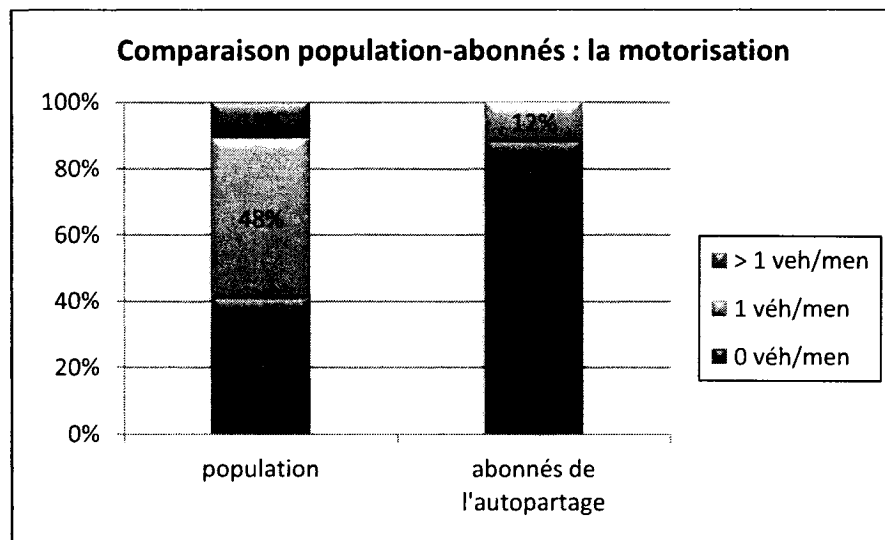


Figure 6-4 : Comparaison population-abonnés : la motorisation

Le statut socioprofessionnel est, comme les indicateurs précédents, un facteur déterminant pour le choix modal (Racca & Ratledge, 2004). La Figure 6-5 fait figurer les distributions de la population et des abonnés du secteur selon leur statut socioprofessionnel. Le secteur étant plutôt jeune, il est logique de retrouver une forte proportion d'étudiants (19%). On observe aussi que 62% des habitants du secteur sont dans la vie active.

La principale différence qui existe entre les deux répartitions concerne la part de population active. En effet, là où 62% de la population est composée de travailleurs, on

retrouve plus de 75% de travailleurs parmi les usagers du service d'autopartage. On remarque aussi que très peu de retraités sont usagers de l'autopartage (peut être parce que c'est un mode nouveau). Les étudiants ne sont pas non plus de gros utilisateurs (6.5% contre 19%).

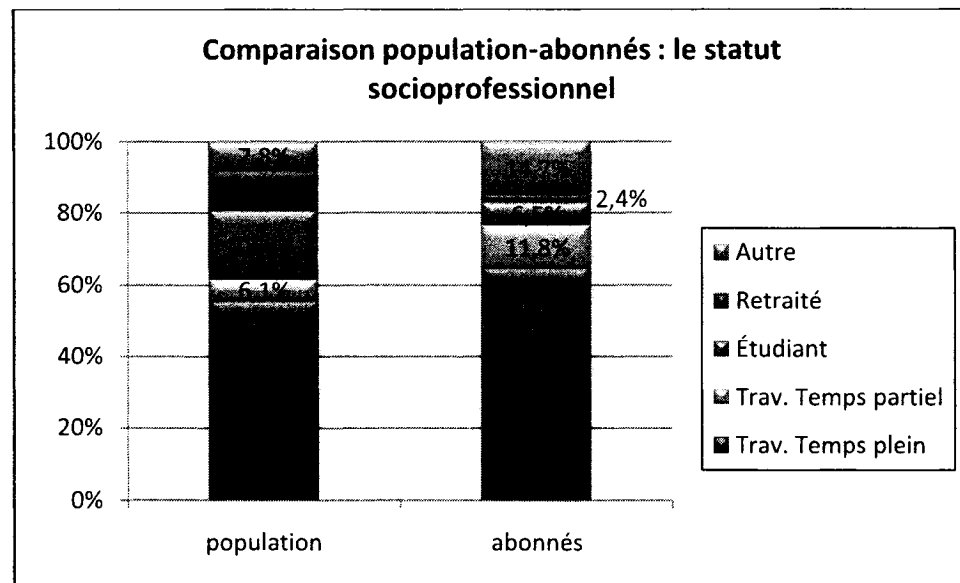


Figure 6-5 : Comparaison population-abonnés : le statut socioprofessionnel

Le dernier paramètre étudié ici est également un facteur explicatif de la répartition modale : le revenu du ménage. Les intervalles proposés lors de l'enquête O-D et lors du sondage n'étant pas les mêmes, il n'a pas été possible de représenter les deux distributions sur le même graphique. Les deux figures suivantes représentent donc d'une part la répartition de la population selon le revenu, et d'autre part celle des abonnés sur le même secteur.

Malgré les différences d'intervalles on observe clairement que les deux distributions ont une allure différente. Très peu d'abonnés ont un revenu faible : 16% d'entre eux font parti d'un ménage dont le revenu est inférieur à 25 k\$. D'autre part, 53% d'entre eux sont dans des ménages dont le revenu est supérieur à 45k\$. Du côté de la population, une majorité (55%) de personnes sont dans des ménages dont le revenu annuel est inférieur à 40k\$ et 45% d'entre eux sont dans des ménages disposant de plus de 40k\$.

Les abonnés sont donc en moyenne dans des ménages dont le revenu annuel est plus élevé que celui de l'ensemble des ménages.

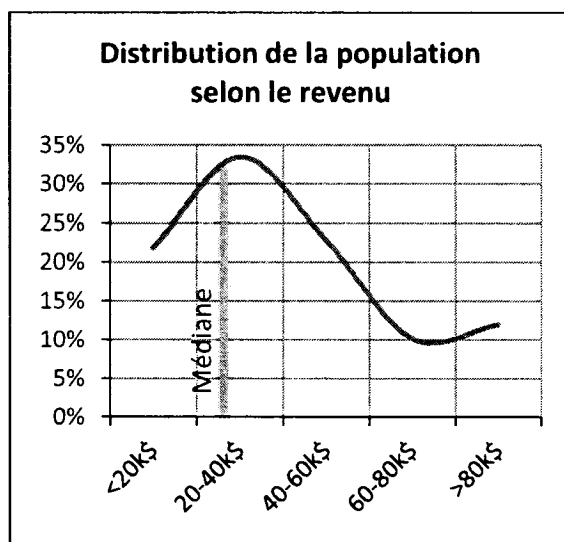


Figure 6-6 : Distribution de la population selon le revenu

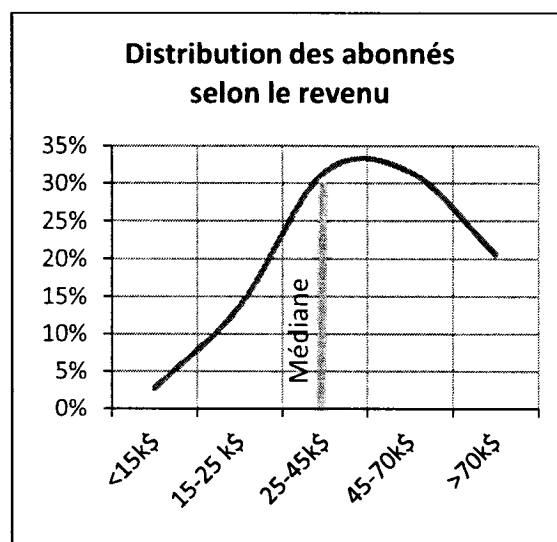


Figure 6-7 : Distribution des abonnés selon le revenu

6.4 Synthèse

Le secteur étudié est situé dans un arrondissement dont la population est à priori plus disposée à utiliser l'autopartage que celle des autres arrondissements de la ville. La niche occupée par les abonnés est donc, pour ce secteur, plus atténuée que si l'étude avait été menée sur l'ensemble de la région métropolitaine. On note cependant des caractères qui semblent clairement impliquer une prédisposition à l'usage de l'autopartage.

Les utilisateurs de l'autopartage sont plus jeunes que la population. Ils vivent plus souvent dans des ménages de plus de quatre personnes que le reste de la population. On remarque par ailleurs que le fait de ne pas posséder d'automobile est également un facteur favorable, tout comme un revenu élevé.

Concernant le revenu, il est possible que la bonne image sociale de ce type de mode de transport incite les personnes relativement riches à adhérer au service.

CHAPITRE 7 : CONCLUSION GÉNÉRALE

7.1 Contributions

La majeure partie de cette étude est fondée exclusivement sur des observations. C'est la seule de ce type réalisée jusqu'à présent. De ce fait, les méthodes d'études n'étaient pas préalablement exposées et une grosse partie du travail méthodologique de ce mémoire a été de formaliser une méthode d'analyse de ce type de système.

La méthode d'analyse développée ici est donc une première approche en la matière. Son caractère formel permet de l'appliquer dans d'autres circonstances. On pourra, en l'appliquant systématiquement, comparer le même système à différentes périodes et suivant différentes restrictions spatiales. On pourra également, s'ils ont la même structure opérationnelle, comparer des services d'autopartage de différentes villes.

Les analyses présentées dans ce mémoire ont permis de faire un portrait global du système. L'étude ayant été inspirée sur l'aspect « orienté-objet » du système, une partie des indicateurs développés a un caractère spécifique. Ces indicateurs observent le système au travers d'un objet en se focalisant sur un second objet. On a ainsi pu mesurer des aspects très particuliers de l'état du service.

Pour démontrer la répétitivité de la méthode, elle a été appliquée sur différents échantillons. En comparant les résultats obtenus à partir de ces échantillons on a pu mesurer l'évolution du système et de son service.

Ce mémoire a par ailleurs montré le caractère exceptionnel de telles données opérationnelles. En effet, en se basant uniquement sur des données opérationnelles, on a pu dresser un portrait global du service et mesurer son évolution sur de longues périodes. Ces données offrent donc un potentiel d'analyse très important.

7.2 Limites du projet

Les indicateurs développés dans la partie méthodologique sont relativement variés et cherchent à appréhender le système suivant différentes perspectives. Certains aspects

n'ont malheureusement pas été abordés volontairement (manque de moyens) ou involontairement.

D'autre part, il est possible, du fait de leur nouveauté, que certains indicateurs développés dans cet ouvrage n'aient qu'une pertinence limitée. En effet, n'ayant été mesurés que peu de fois, sur un seul système, il est possible que leur application dans d'autres circonstances donne des résultats aberrants ou strictement identiques. De tels indicateurs perdent leur pertinence et sont donc inutiles.

La méthode présentée a également été confrontée à des limites qui induisent des erreurs et dont il est impossible de s'affranchir avec les données disponibles. L'étude porte sur des données transactionnelles réparties sur une longue période, elles sont croisées avec des attributs provenant d'autres sources : base de données des usagers et des véhicules extraites à une date précise. Or, il est possible qu'une partie des attributs des abonnés (domicile...) et des véhicules (station) ait évolué entre la date de la transaction étudiée et la date d'extraction de ces attributs.

Cependant, une grande partie des indicateurs présentés dans ce mémoire mesure des dimensions opérationnelles communes à tous les systèmes de transport (nombre d'utilisation, distances, durée...). Ces indicateurs ont donc déjà été éprouvés à maintes reprises et sont donc vraisemblablement pertinents.

7.3 Perspectives

Les analyses menées dans ce projet ont certes conduit à un portrait du service. Mais il persiste de nombreuses zones inconnues quant à la pertinence de la méthode d'analyse. On a par ailleurs déjà identifié des facteurs induisant des erreurs dans les résultats obtenus avec cette méthode.

Un des défis à résoudre afin de fiabiliser la méthode d'analyse réside dans la vérification des attributs des différents objets (stations des véhicules, domiciles des usagers...) à la date d'observation du service.

La richesse des données utilisées dans ce mémoire est loin d'avoir été exploitée en totalité: certaines bases de données n'ont pas été analysées précisément (base de données

des abonnés par exemple). On pourrait par exemple, adapter un modèle permettant d'indiquer, pour chaque abonné, quel forfait il aurait dû souscrire et le comportement potentiel qu'il aura l'année suivante (donc lui conseiller un forfait). D'autres méthodes d'analyse peuvent également être appliquées à ces données au vu de leur qualité. La fouille systématique de données, par exemple, a été appliquée sur ces données dans le département, les résultats ont été concluants et offrent là encore de nouvelles opportunités (Morency, Trépanier, & Agard, 2007). Certains véhicules d'autopartage étant munis d'un GPS, l'exploitation de telles données est également une opportunité ouvrant de nombreuses pistes d'étude. On pourrait par exemple, en se basant sur les données fournies par ces GPS, modéliser la congestion. Ces données pourraient également permettre de dériver le motif d'utilisation du service qui est pour l'instant assez méconnu.

L'autopartage est par ailleurs un mode de transport qui rencontre un réel succès et qu'il est de ce fait important d'étudier. En effet, pour faire progresser ce mode et démontrer qu'il peut être un des éléments majeurs du système de transport urbain, il est important de bien mesurer son impact et la façon dont il fonctionne.

RÉFÉRENCES

- AMT, Comité technique (2003). *Enquête Origine-Destination 2003, Faits Saillants*. Consulté le 1^{er} septembre à : <http://www.cimtu.qc.ca/enqOD/2003/Resultats/>
- Aronsson, K. F. M. (2006). *Speed characteristics of urban streets based on driver behaviour studies and simulation*. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Barth, M., Han, J., & Todd, M. (25-29 Août 2001). *Performance evaluation of a multi-station shared vehicle system*. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Proceedings, Oakland, CA.
- Brooks, D. (2004). *Carsharing – Start Up Issues and New Operational Models*. Transportation Research Board 83rd Annual Meeting, Washington, DC.
- Celsor, C., & Millard-Ball, A. (2007). *Where does car-sharing work? Using GIS to assess market potential*. Transportation Research Board 2007 Annual Meeting, Washington, DC.
- Direction de la planification du développement du territoire. (2007). Population et démographie. Ville de Montréal. Consulté le 15 septembre 2007 à : http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/MTL_STATISTIQUES_FR/MEDIA/DOCUMENTS/POPULATION_25%20JUILLET%202007.PDF
- Gattis, J. L. (1999). *Urban Street Cross Section and Speed Issues*. TRB Circular E-C019: Urban Street Symposium Dallas, Texas.
- Gilbert, F. (2006). *Analyse des comportements des usagers de l'auto partage à Montréal*. TFE. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal (QC), Canada.

- Harms, S., & Truffer, B. (1998). *The Emergence of a Nationwide Carsharing Cooperative in Switzerland*. European Union: Joint Research Centre.
- Lamure, C., Patrice, B., & Jean, M. (1999). Automobiles pour la ville à l'horizon 2010. Nouvelles gestions de l'automobile urbaine. Partenariats avec le transport public. . *CERTU report*.
- Lane, C. (2005). PhillyCarShare: First-year social and mobility impacts of carsharing in Philadelphia, Pennsylvania. *Transportation Research Record* (1927), 158-166.
- Meaton, J., & Low, C. (2003). Car Club Development: The Role of Local Champions. *World Transport Policy & Practice*, 9(3), 32-40.
- Meaton, J., Starkey, R., & Williams, S. (2003). Stelios: the Accidental environmentalist? The potential impacts of the EasyCar Club in the UK. *World Transport Policy & Practice*, 9(1), 31-36.
- Morency, C., Trépanier, M., Agard, B., Martin B., Quashie J. (2007). *Car sharing system: what transaction datasets can tell us regarding the user behaviors*. 10th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - ITSC 2007, Seattle, Washington, USA.
- Morency, C., Trépanier, M., & Martin, B. (2007). *Object-oriented analysis of a car sharing system*. Article proposé au Transportation Research Board 2008, Washington D.C.
- Muheim, P., & Partner. (1998). CarSharing – the Key to Combined Mobility. Consulté le 7 Janvier 2007, à : <http://reservation.mobility.ch/mobilmanager/IntSummeryE.html>
- Observatoire_économique_et_urbain. (2004). *Les arrondissements de Montréal, Répertoire socio-démographique. Mobilité*. Consulté le 15 septembre 2007, à :

http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2076,2454150&_dad=portal&_schema=PORTAL

- Racca, D., & Ratledge, E. (2004). *Factors That Affect and/or Can Alter Mode Choice*: Delaware Transportation Institute and The State of Delaware Department of Transportation.
- Robert, B. (2004). Histoire de l'auto-partage. Communauto. Consulté le 16 décembre 2006, à : <http://www.communauto.com/historique01.html>
- Robert, B. (2005). *Recueil de textes sur Communauto inc. Le plus ancien service d'auto partage en Amérique du Nord*. Université Laval, Québec.
- Schwartz, J. (1999). Car Free Cities Workgroup Seminar, London.
- Schwieger, B. (2004). *International Developments towards Improved Car-Sharing Services*. Oxford: Writersworld Limited.
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Roberts, J. D. (2005). *Carsharing in North America: Market growth, current developments, and future potential*. Transportation Research Board 2005. Washington D.C.
- Shaheen, S. A., Schwartz, A., & Wipiewski, K. (2004). Policy considerations for carsharing and station cars: Monitoring growth, trends, and overall impacts. *Transportation Research Record* (1887), 128-136.
- Transit Cooperative Research Program, & Millard-Ball, A. (2005). *Appendices to TCRP Report 108 : Car-Sharing : where and how it succeeds*.
- Transit Cooperative Research Program (Etats-Unis), & Millard-Ball, A. (2005). *Car-Sharing : where and how it succeeds*.

Trépanier, M. (1999). *Modélisation totalement désagrégée et orientée-objet appliquée aux transports urbains*. PhD. Ecole Polytechnique de Montréal, Montréal.

Ville de Montréal. (2005). *La transformation démographique - La répartition de la population sur le territoire* consulté le 15 septembre 2007 à : http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=2076,2454124&_dad=portal&_schema=PORTAL.

ANNEXE

Tableau A-1: Opérateurs d'autopartage nord-américains en juin 2005

Region	Operator	Type
United States		
Ann Arbor, MI	Ann Arbor Community Car Coop	Cooperative
Aspen, CO	Roaring Fork Valley Vehicles	Municipal
Boston, MA	Zipcar	For-profit
Boulder, CO	Boulder CarShare	Non-profit
Chapel Hill, NC	Zipcar	For-profit
Chicago, IL	I-GO	Non-profit/ Franchise
Detroit, MI	Viacar	For-profit
Eugene, OR	Eugene BioCarShare	Cooperative
Irvine, CA (University of California)	ZenNet	Research Pilot
Los Angeles, CA	Flexcar	For-profit
Madison, WI	Community Car	For-profit*
Minneapolis-St Paul, MN (Planned 2005)	hOurCar	Non-profit
New York, NY (including New Jersey suburbs and Princeton, NJ)	Zipcar	For-profit
Philadelphia, PA	PhillyCarShare	Non-profit
Portland, OR (includes Vancouver, WA)	Flexcar	For-profit
Riverside, CA (University of California)	IntelliShare	Research pilot
Rutledge, MO	Dancing Rabbit Vehicle Cooperative	Cooperative
San Diego, CA	Flexcar	For-profit
San Francisco, CA	City CarShare	Non-profit
Santa Barbara, CA	Flexcar	For-profit
Seattle, WA	Flexcar	For-profit
Washington, DC	Flexcar, Zipcar	For-profit
Canada		
Calgary, AB	Calgary Alternative Transportation Coop	Cooperative
Edmonton, AB	Carsharing Co-op of Edmonton	Cooperative
Gatineau, QC	Communauto	For-profit**
Guelph, ON	Guelph Community Car Co-op	Cooperative
Kingston, ON	Kingston Carshare Cooperative	Cooperative
Kitchener, ON	People's Car	Cooperative
Montreal, QC	Communauto	For-profit**
Nelson, BC	Nelson CarShare Cooperative	Cooperative
Ottawa, ON	VirtuCar	For-profit
Quebec City, QC	Communauto	For-profit**
Sherbrooke, QC	Communauto	For-profit**
Toronto, ON	AutoShare	For-profit
Vancouver, BC	Cooperative Auto Network	Cooperative
Victoria, BC	Victoria Car Share Cooperative	Cooperative

* Community Car was founded by the non-profit Madison Environmental Group.

**Communauto started as a cooperative, Auto-Conn.

(Transit Cooperative Research Program (Etats-Unis) & Millard-Ball, 2005)

